

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA NETKANÝCH TEXTILIÍ



## DIPLOMOVÁ PRÁCE



LIBEREC 2009

JANA SOBOTKOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: M3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Netkané textilie

Katedra netkaných textilií

**STUDIUM ADHEZE NANOVLÁKENNÝCH  
VRSTEV K NOSNÝM MATERIÁLŮM**

**STUDY OF ADHESION OF NANOFIBROUS  
LAYERS ON THE SUPPORT MATERIAL**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Chaloupek Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Prof. RNDr. Oldřich Jirsák, CSc.

Autorka diplomové práce: Jana Sobotková

Počet stran: 60

Počet obrázků: 34

Počet tabulek: 6

Počet příloh: 4

## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou (*bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové (*bakalářské*) práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové (*bakalářské*) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové (*bakalářské*) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 24.5. 2009

.....

Podpis

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Jiřímu Chaloupkovi Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a trpělivost při zpracování této diplomové práce.

Mé poděkování rovněž patří Filipu Sanetrníkovi za ochotu při výrobě a zpracování vzorků.

V neposlední řadě děkuji mé rodině za finanční a morální podporu, kterou mi poskytovala po celé období mého studia.



## **ANOTACE**

Diplomové práce se zabývá studiem adheze nanovlákných vrstev k nosným materiálům. Jako výchozí adhezní systémy byly použity disperze od firmy BASF a Collano.

Teoretická část této práce je zaměřená na seznámení se základními pojmy souvisejícími s adhezi a její strukturou, adhezními systémy a způsoby jejich nanášení, kohezi, elektrostatickým zvlákňováním, výrobou nosné textilie spun-bond a způsobem testování zkoumaných materiálů.

Experimentální část práce se zabývá nanášením adhezních systémů na nosnou textilií spun-bond a elektrostatickým zvlákňováním polyuretanu na adhezní vrstvy o různých plošných hmotnostech. U výsledných vzorků byla provedena mechanická zkouška oděru a zkouška prodyšnosti.

### **Klíčová slova:**

adheze, koheze, adheziva, elektrostatické zvlákňování, nanovlákná vrstva, technologie spun-bond, Gardonův test

## **ANOTATION**

This graduation thesis dwell on studying of nanofibers' layers adhesion with support materials. As basic adhesion systems were used aqueous dispersions, made by BASF and Collano companies.

Theoretical part of the graduation thesis is focused on basic concepts connected with adhesion and it's structure as well as adhesion systems and method of their spreading. In this part are also mentioned: cohesion, electrospinning, making support textile spun-bond and finally way of testing in connection with surveyed materials.

Experiment part of the graduation thesis is focused on method of spreading adhesion systems on the support textile spun-bond and also on electrospinning of polyurethane on the adhesion layers – with different surface weights. With final samples were made testing of abrasion and permeability testing.

### **Key words:**

adhesion, cohesion, adhesives, electrospinning, nanofibres layers, technology spun-bond, Gardon test

# Seznam použitých zkratek a symbolů

aj.	a jiné	
apod.	a podobně	
atd.	a tak dále	
Cl <sub>2</sub>	chlór	
H <sub>2</sub>	vodík	
kap.	kapitola	
měř.	měření	
NaCl	chlorid sodný	
např.	například	
N <sub>2</sub>	dusík	
obr.	obrázek	
PE	polyetylén	
PES	polyester	
pH	vodíkový exponent	
PP	polypropylén	
PSA	pressure sensitive adhesive	
PVC	polvinylchlorid	
P <sub>4</sub>	fosfor	
tab.	tabulka	
tj.	to je	
tzn.	to znamená	
tzv.	tak zvaný	
$\Delta p$	tlakový spád	[Pa]

# Obsah

ÚVOD	9
TEORETICKÁ ČÁST	10
1. ADHEZE A ADHEZNÍ STRUKTURA	10
1.1 Vazby	11
1.2 Smáčivost povrchu a kontaktní úhel	13
1.3 Povrchové napětí	14
1.4 Vliv polarity adheziva	14
2. KOHEZE	15
3. ADHEZNÍ SYSTÉMY	15
3.1 Formy pojiv	15
3.1.1 Rozdělení adhezí podle principu tuhnutí ve spoji	16
3.2 Aplikace adhezních systémů	18
3.2.1 Zařízení pro nános adhezních systémů	20
3.2.2 Nátěrový systém	20
3.3 Použité adhezní systémy	22
4. ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ	24
4.1 Proces elektrostatického zvlákňování	25
4.2 Technologie Nanospider	27
5. TECHNOLOGIE SPUN-BOND	27
6. VYBRANÉ ZKUŠEBNÍ METODY	29
6.1 Stanovení pevnosti spoje – Gardonův test	29
6.2 Testování prodyšnosti podle normy Edana 140.1-81	29
6.3 Odolnost textilie proti oděru	30
7. STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY	31
7.1 Charakteristika polohy	31
7.2 Charakteristiky variability	31

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
8. PLÁN EXPERIMENTU	32
8.1 Stanovení pevnosti spoje pomocí zkoušky lpění vrstev	34
8.2 Měření kontaktního úhlu	35
8.3 Měření povrchového napětí	39
8.4 Aplikace adhezních vrstev	40
8.4.1 Aplikace disperze Collano DP 7006	42
8.4.1.1 Snímky z optického mikroskopu	43
8.4.2 Aplikace disperze Collano DP 7011	47
8.4.3 Aplikace disperze Acronal V 210	47
8.5 Měření plošné hmotnosti vzorků s adhezivem	47
8.6 Výroba nanovláknenné vrstvy	49
8.7 Testování vzorků	49
9. VÝSLEDKY A DISKUZE	54
9.1 Zhodnocení výsledků zkoušky lpění vrstev	54
9.2 Zhodnocení výsledků povrchového napětí disperzí a kontaktního úhlu u kapky disperze	54
9.3 Zhodnocení aplikace adhezních vrstev	55
9.4 Zhodnocení zkoušky prodyšnosti a zkoušky oděru	56
10. PROBLÉMY EXPERIMENTU	57
ZÁVĚR	58
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	59
PŘÍLOHY	
Příloha A	
Příloha B	
Příloha C	
Příloha D	

# Úvod

Nanotechnologie neoznačuje žádný konkrétní obor. Používá se ve všech oborech, ve kterých se zabýváme výzkumem a výrobou čehokoliv, co měří méně než jeden mikrometr. Oproti tomu nanověda studuje hmoty na atomové a molekulární úrovni, kde se vlastnosti hmoty velice výrazně liší od vlastností při větších rozměrech.

Jednou z oblastí nanotechnologií jsou i nanovláknenné materiály. Nanovlákneno je vlákno o šířce několik desítek až tisíc atomů. Lze je pozorovat pouze pod elektronovým mikroskopem. Má obrovský měrný povrch a váží pouze  $0,1 - 1 \text{ g/m}^2$  [12].

Nanospider je unikátní stroj, díky němuž je možné nanovláknena a nanovláknenné textilie vyrábět v průmyslovém měřítku. Byl vynalezen na Technické univerzitě v Liberci (TUL) na Katedře netkaných textilií a byl následně patentován.

Základním prvkem stroje jsou dvě elektrody, mezi nimiž existuje elektrostatické pole. Spodní elektroda má tvar válce, který je ponořen do roztoku polymeru. Válec se otáčí a vynáší tenkou vrstvu roztoku do elektrostatického pole, které z roztoku vytáhne dlouhá vlákna až ke druhé elektrodě. Za všechno mohou elektrostatické síly, které z polymeru vyděloují vlákno na podklad.

Cílem této diplomové práce je studium adheze mezi textilním materiálem a nanovláknennou vrstvou, která je pomocí elektrostatického zvlákňování na tento materiál vytvořena. V teoretické části jsou uvedeny základní parametry použitých adhezních systémů a textilního materiálu. U zvoleného nosného materiálu se předpokládá, že jeho pevnost je vyšší, než pevnost v místě adhezního spoje. Experimentální část se zabývá aplikací adhezních systémů a jejich vyhodnocení.

# Teoretická část

## 1. Adheze a adhezní struktura

Termín adheze má několik významů:

1. Ve fyzikální chemii znamená přitažlivost mezi pevným povrchem a druhou fází. Druhá fáze mohou být částčky, molekuly, kapičky, prášek nebo souvislý film. Adheze potom vede k sorpci, která může být adsorpcí – na povrchu pevné fáze nebo absorpcí dovnitř povrchové vrstvy. Příčinou adheze mohou být rozdílné síly – elektrostatické, Van der Waalsovy nebo chemické vazby, které vedou k pojmu chemiesorbce.
2. V technologii lepení znamená adheze jen přitažlivost mezi pevným povrchem a druhou kapalnou nebo pevnou fází.
3. Magnetická adheze je reverzibilní jev praktického významu. Přitažlivost je tu zapříčiněna především silovým polem a ne vlastnostmi povrchu.
4. V dopravním inženýrství se užívá termín adheze k pojmenování valivého tření, které vzniká při dotyku kola s podkladem.

Adhezní jev je výsledkem vzájemného působení molekul, což znamená, že adheze souvisí s molekulovou strukturou, kde se uplatňují:

- a. fyzikální síly,
- b. chemické síly,
- c. mezimolekulové síly.

Síly způsobující adhezi se odlišují od pevnosti spoje. Pevnost spoje je závislá na jednotlivých technologických procesech, při kterých můžou vzniknout rozdílné vrstvy vazeb, což je příčinou, že nevznikne pravý, ale nepravý spoj, jehož pevnost je ve skutečnosti menší než se předpokládá [1].

Kromě vědeckého chápání pojmu adheze je třeba brát v úvahu především význam, ve kterém se používá nejčastěji, a to, že adheze je velikost síly (zatížení), která způsobuje roztržení spoje vytvořeného pomocí adheziva. Pokud v praxi hodnotíme speciálními zkouškami přitažlivost mezi adhezivem a adherendem, získáme ve skutečnosti určité číselné (kvantitativní) zhodnocení vztahu adheziva k nějakému povrchu. Toto číslo kromě podílu adheze zahrnuje ještě vlivy koncentrace napětí v adhezivu, na jeho rozhraní, dále vlivy technologii lepení a další.

*Adhezní struktura* – představuje zvláštní systém, zabezpečuje přenos mechanického napětí mezi adhezivem a adherendem (substrátem) [1].

## 1.1 Vazby

Pro studium adheze je důležitá znalost vzniku a působení sil mezi polymerními řetězci, sil mezi těmito řetězci a adherendem. Vliv mezimolekulových sil na pevnost spojení ovlivňuje mnoho faktorů jako např. technologie výroby, přítomnost trhlin a jiných nehomogenit.

- Iontová vazba vznikne vzájemnou interakcí mezi kladnými a zápornými ionty, které si vzájemně doplňují své vnější elektronové sféry na stabilní konfiguraci nejbližšího vzácného plynu. Příkladem je např. NaCl.
- Kovalentní vazba vzniká, když dva atomy mají společnou dvojici elektronů neboli elektronový pár, kde každý atom přispívá jedním elektronem. V jednoduché kovalentní vazbě dochází k sdílení jednoho elektronového páru. Kovalentní vazby mají nejčastěji molekuly sestavené se stejných atomů jako např.  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $N_2$  nebo  $P_4$ . Kovalentní vazbou jsou také vázány atomy krystalických látek jako je křemík nebo diamant. Charakteristická je pro tento druh vazby malá elektrická vodivost.
- Koordináční vazba je zvláštním případem kovalentní vazby. Vzniká, když elektron pro kovalentní vazbu předává pouze jeden z atomů spojených kovalentní vazbou. Koordináční vazba je kombinací iontové a kovalentní vazby. Donor je atom koordináční vazby darující elektronový pár a akceptor je atom elektronový pár přijímající.
- Kovová vazba vzniká u atomů s nedostatkem vazebných možností, které odeberou z vnější elektronové sféry potřebný počet elektronů a za vnější elektronovou sféru se považuje nejbližší nižší. Vyskytuje se hlavně u kovů.

- Vazba dipol – dipol. Tato vazba je charakterizována dipólovým momentem  $\mu$  daným součinem vzdálenosti obou nábojů a velikostí náboje na jednom konci dipólu. Jednotka dipólového momentu je coulombmetr (Cm).
- Vodíkové můstky vznikají u vodíku kovalentně vázaného na atom s velkou elektronegativitou, jako je F, O nebo N, kde je možnost vázat se s dalším elektronovým párem elektronegativního atomu intramolekulárně nebo intramolekulárně.
- Disperzní síly vznikají tehdy, když elektrony v molekule mají v každém okamžiku určitou konfiguraci. Molekula A má tak v každém okamžiku určitý dipólový moment. Molekula A tak indukuje dipólový moment u molekuly B a takto vzniká interakce daná přitažlivou silou mezi těmito atomy [2].

Tabulka 1: *Energie různých typů vazeb [1].*

typ síly	Energie
chemické vazby	[kJ . mol <sup>-1</sup> ]
iontová	580 – 1050
kovalentní	60 – 710
Kovová	110 – 350
mezimolekulové síly	[kJ]
vodíkové můstky	do 50
dipól – dipól	do 20
Disperzní	do 41,8

Kromě těchto sil, které se často označují jako primární, existují i síly sekundární, kde se nejčastěji uplatňují Van der Waalsovy síly ( asi 8 až 16 kJ.mol<sup>-1</sup>). Důležité jsou i síly, které působí na povrchu nebo na rozhraní fází, což je povrchové napětí a povrchová energie. Tyto síly se projevují spíše negativně, protože způsobují vznik slabých vazebných vrstev, např. vázáním vlhkosti, mastnoty, plynu apod. na povrchu materiálu, který se má lepit [1].



## 1.2 Smáčivost povrchu a kontaktní úhel

Z praxe je důležitá smáčivost povrchu. Smáčivost je vlastnost kapaliny přilnout k povrchu pevných látek. Stupeň smáčení se vyjadřuje úhlem smáčení, který se nazývá kontaktní úhel.

Předpokladem pro dobrou adhezi je dokonale vyplnění všech spár adhezivem, to je vytvoření souvislé vrstvy. Tento požadavek může být splněn jen tehdy, když vzájemná přitažlivost molekul adheziva bude menší než přilnavost adheziva k materiálu. Termodynamickou úvahou lze dospět k závěru, že uvedená podmínka je splněna, když lepidla smáčí lepenou plochu. Plocha se smáčí tehdy, když rozdíl povrchového napětí lepidla proti vzduchu a kapalině je kladný.

Čím menší je kontaktní úhel, tím lépe smáčí lepidlo povrch materiálu a adheze je lepší. Hodnota kontaktního úhlu je závislá např. na teplotě, vlhkosti, vzduchu, nečistotách na povrchu apod. Při sledování velikosti kontaktního úhlu lze zjistit, že se jeho velikost mění podle toho, zda se smáčená plocha zvětšuje nebo zmenšuje. Při nízkém smáčení plochy je kontaktní úhel malý a pro adhezi příznivější. V praxi se používá toto pravidlo: adhezivem lze použít k lepení zvoleného materiálu tehdy, když jiná volená látka má na obou látkách podobné kontaktní úhly. Velikost kontaktního úhlu adheziva na povrchu lepeného materiálu je velmi důležitá i pro vnikání kapalného adheziva do pórů. Čím je kontaktní úhel menší, tím snáze vniká do pórů; ovšem je také možné, že v pórech zůstane vzduch, který adhezivum vytlačí, pokud je pór tvarově nepříznivý.

Určitý problém způsobuje hystereze smáčení, tj. jev, kdy základní kapka může mít rozdílný objem kapaliny, a proto kontaktní úhel bude rozdílný. Tato hystereze smáčení se projevuje na nerovném povrchu, to znamená, že těsně za nerovností bude kontaktní úhel jiný než na dokonale hladkém povrchu.

Kromě hystereze smáčení je důležitým faktorem rychlost smáčení, na které se účastní povrchové napětí a viskozita kapaliny [1-3].

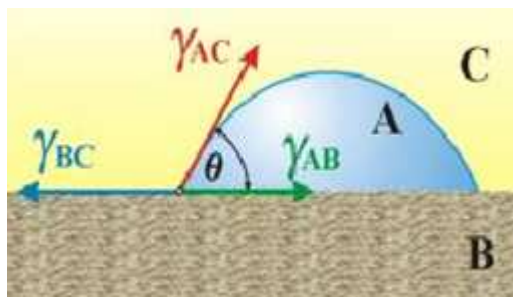
### 1.3 Povrchové napětí

Povrchové napětí je podstatné pro způsob rozmístění disperze pojiva ve vlákenné vrstvě, i pro transportní jevy spojené s fyziologickými vlastnostmi textilií. Lze je ovlivnit použitím tenzidů a úpravou povrchových vlastností vláken.

Povrchové napětí kapaliny je důsledkem přitažlivých sil mezi molekulami. Kapalina má snahu zaujmout tvar s minimálním povrchem, tj. tvar koule. Ke zvětšování povrchu kapaliny je tedy nutno působit silou. Zvětšování povrchu je spojeno se zvýšením energie částic, tzv. povrchové energie.

Povrchová energie je práce, kterou je třeba vynaložit na zvětšení povrchu kapaliny o plošnou jednotku. Jednotka povrchové energie je  $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$  a její číselná hodnota je rovna  $\gamma$ . Setkáváme se soustavou třech různých fází, pevné (B), kapalné (A) a plynné (C). Pokud je povrchové napětí mezi pevnou a plynou fází větší než mezi pevnou a kapalnou fází, bude snaha soustavy zvětšovat povrch pokrytý kapalinou na úkor povrchu pevné látky – vzduchu. Kapka bude mít snahu smáčet větší povrch, úhel  $\theta$  se bude zmenšovat. Právě úhel  $\theta$  je mírou smáčivosti (kontaktní úhel), přičemž platí

Youngova rovnice: 
$$\cos \theta = \frac{\gamma_{BC} - \gamma_{BA}}{\gamma_{AC}} \quad [4]. \quad (1)$$



Obrázek 1: Rovnovážný tvar kapky kapaliny na tuhém povrchu [5].

### 1.4 Vliv polarity adheziva

Je známo, že adhezivum nejlépe drží na materiálech polárního charakteru. Čím je polarita větší, tím je spoj pevnější. Dobrý adhezní spoj vznikne jen u polární látky s povrchem jiné látky rovněž polárního charakteru. Zdánlivou výjimkou jsou kovy, které nejsou polárního charakteru, a přesto se dají velmi dobře lepit. V kovech jsou velmi pohyblivé elektrony, které působí snadnou indukci dipólů při přiblížení dipólu adheziva [2].

## 2. Koheze

Soudržnost čili koheze je druhý, v lepicí technice často používaný pojem. Tímto pojmem rozumíme vnitřní pevnost adheziva. Je to souhrn všech přitažlivých sil, které brání oddálení jednotlivých molekul adheziva od sebe. Pevnost se zvětšuje s ubývající tloušťkou vrstvy adheziva. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, kterou je možnost vyjádřit jako energii potřebnou k oddělení částice lepidla od ostatních částic. Skládá se z mezimolekulární přitažlivé Van der Waalsovy síly a síly vzájemného propletení řetězců molekul polymerů mezi sebou [6].

Při vytváření adhezní vazby v průběhu pojení netkaných textilií dochází ke změnám jejich vlastností na základě změn jejich mikrostruktury. Proces vytváření adhezní vazby můžeme rozdělit do pěti fází. V první fázi je adhezivo a adherendum připraveno do vzájemného styku. Technologicky se v této fázi jedná o stříkání pojiva, roztírání pasty a pěny, posypávání práškovými formami pojiva, mísení vláken, vrstvení termoplastických útvarů. Druhou fází je smočení povrchu vláken nebo vlákenných útvarů adhezivem. Třetí nutnou fází k vytvoření pevného spoje je ztužení adheziva (pojiva), ke kterému dochází odpařováním disperzního média, koagulací vlivem změn prostředí, polyreakcí monomerů, nebo ochlazením termoplastických poživ. V další fázi dochází ke ztužení adheziva a k jeho migraci. Deformace pojeného útvaru během ztužení je poslední, pátou fází [8].

## 3. Adhezní systémy

### 3.1 Formy poživ

Pojivo je jednou ze dvou základních složek pojených textilií. Forma pojiva a jeho vlastnosti předurčují:

- technologii a podmínky procesu spojování,
- způsob rozmístění pojiva ve vlákenné vrstvě a tím strukturu textilie,
- mechanické vlastnosti a chemickou odolnost výrobku.

Formou pojiva se rozumí jeho forma fyzikální (roztok, disperze, pěna, pevná látka) nebo geometrická. Z tohoto hlediska rozlišujeme pojiva:

- roztoky polymerů – ve vodě, v organických rozpouštědlech,

- vodné disperze polymerů,
- pěny,
- pasty,
- tuhé polymery – prášek, vlákno, síťovina, folie a atd.

### *Vodné disperze polymerů*

Disperze je nejpoužívanější formou chemických pojiv. Jejich hlavní výhodou je vysoká koncentrace pojiva v disperzi (až 55 hmot. %) při nízké viskozitě. Vysoká koncentrace snižuje dopravní a manipulační náklady a množství vody, kterou je třeba v konečné fázi výroby odstranit z textilie. Nízká viskozita je předpokladem snadného transportu k vlákenné vrstvě a mezi vlákna.

Disperze je soustava sestávající se z homogenní fáze (voda) a rozptýlených částic (polymer, kopolymer). Typický průměr částic v disperzích pojiv je 0,2 – 0,8 mikrometrů. Další nutnou složkou disperze je povrchově aktivní látka (tenzid) zajišťující její stabilitu tím, že brání vzájemnému spojování částic. Spojováním částic by docházelo ke koagulaci, což je rozpad disperze. Disperze vznikají přímo v procesu emulzní polymerace nebo dispergací polymeru v kapalině [4].

## **3.1.1 Rozdělení adhezí podle principu tuhnutí ve spoji**

### Lepidla roztoková tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody

Nános těchto lepidel tuhne vsáknutím a odpařením vody použité jako rozpouštědlo. Základním předpokladem použití je poréznost a propustnost alespoň jednoho dílu pro plyny. Tato lepidla jsou nejlevnější, ale spoje neodolávají vodě. Patří sem lepidla kaseinová, klišová, škrobová a lepidla na bázi celulózy.

### Lepidla disperzní tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody (latexy)

Tato lepidla jsou velmi jemné disperze polymerů ve vodě. Po vsáknutí a odpaření vody dochází ke slnutí maličkých polymerních částic v souvislý film. K tomuto slnutí může dojít jen nad tzv. minimální filmotvornou teplotou (10 až 12 °C), odlišnou pro různé disperze. Jako lepidla jsou nejrozšířenější disperze polyvinylacetátové, dále kopolymerní disperze vinylacetátové a akrylátové. Ve srovnání s rozpouštědlovými lepidly mají vodné polymerní disperze (latexy) některé přednosti:

- mají nízkou viskozitu při poměrně vysoké sušině 50 až 60 %,
- obsahují jen nepatrné množství požárně nebezpečných organických rozpouštědel,
- zpracovávají se za normální teploty jako jednosložková lepidla, tedy bez tvrdících přísad; přítomná voda musí vsáknout, a proto nejméně jeden z lepených materiálů musí být porézní a propustný pro vodní páru.

#### Lepidla roztoková tuhnoucí odtěkáním organických rozpouštědel

Řada termoplastů je rozpustná v organických rozpouštědlech na viskózní roztoky vyznačující se dobrou adhezí k mnoha materiálům. Všechna tato lepidla se zpracovávají stejným způsobem. Spoj vzniká vsáknutím a odpařením rozpouštědla. Roztoková lepidla mají nízký obsah sušiny, a proto vytvářejí po zaschnutí jen velmi tenký film. Proto mají minimální schopnost vyplnit nerovnosti spojovaných povrchů, což zvyšuje nároky na dokonalou egalizaci lepených ploch. Film lepidla ve spoji zadržuje delší dobu zbytky rozpouštědla, spoj je dlouho měkký a konečné pevnosti dosahuje až za delší dobu. Patří sem lepidla kaučuková, ze sloučenin celulózy, polyakrylátová, polyamidová, polystyrenová.

#### Lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem zvýšené teploty

Některá reaktoplastická (termosetická) lepidla se dodávají v jednosložkové formě a vytvrzují pouze za zvýšené teploty. Tato lepidla na bázi epoxidových, fenolformaldehydových, močovinových pryskyřic se rozsáhle používají v průmyslu, ale pro drobné práce jsou nevýhodná, a navíc dostupná jen ve velkých dodávkách.

#### Lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí

Monomerní kyanakryláty tuhnou polymerací aktivovanou vzdušnou vlhkostí prostředí během několika vteřin až minut podle typu lepidla, druhu spojovaného materiálu a teploty. Spoj je elastický, houževnatý s širokou adhezní účinností. Lepidla jsou určena k lepení hladkých, nesavých a odmaštěných povrchů malých rozměrů. Nejsou vhodná k lepení měkčeného PVC, polystyrenu a dřeva. Kyanakrylátová lepidla se používají i v lékařství ke spojování tkání.

### Lepidla tavná

Tavná lepidla jsou za normální teploty pevné látky termoplastického charakteru. Zpracovávají se tak, že se na krátkou dobu zahřejí na teplotu, při které se roztaví, zkapalní a stanou se lepivými, tzn. podle druhu lepidel od 120 až 200 °C. Někdy se lepidlo nanáší ve formě prášků, fólií nebo na tkaninovém nosiči. Tavná lepidla jsou termoplastické materiály, které si udržují termoplasticitu i v lepeném spoji. Tato vlastnost umožňuje soubor rozpojit opětným zahříváním. Tepelná odolnost je omezena bodem tání lepidla.

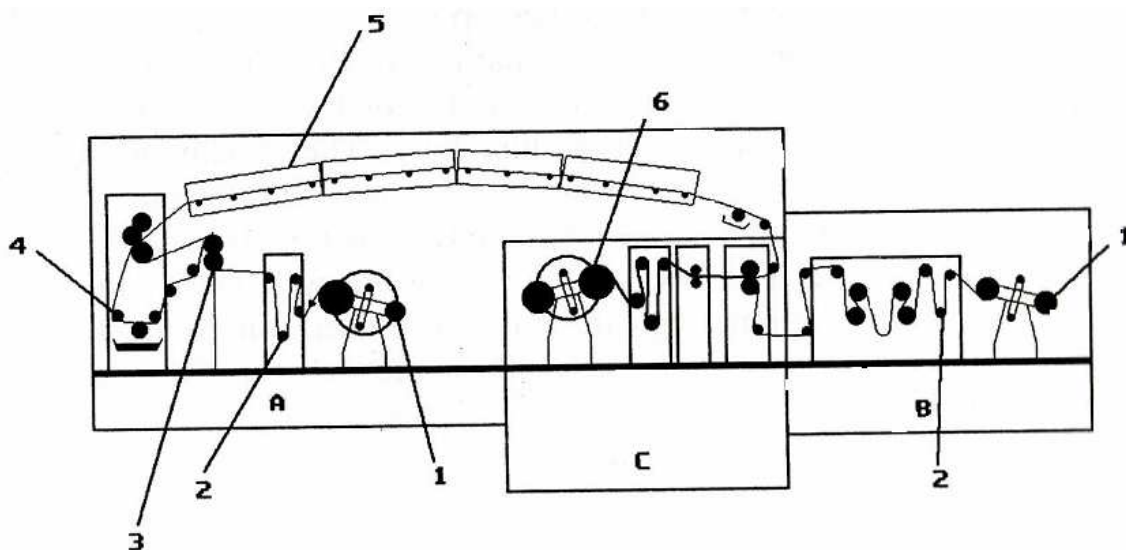
### Lepidla stále lepivá, citlivá na tlak (PSA)

Lepidla stále lepivá, označována též jako citlivá na tlak, se používají výhradně v kombinaci s vhodnými nosiči. Jde o tzv. samolepící pásy, fólie a štítky s nanesenou lepicí vrstvou. Spojení pásy nebo fólie s podkladem se dosáhne pouhým přitlačením. Lepidla stále lepivá obsahují v podstatě tyto složky: termoplastický polymer nebo kaučuk, přírodní nebo syntetickou pryskyřici, změkčovač a další aditiva. Lepidla citlivá na tlak slouží i při výrobě samolepících tapet a podlahových krytin [23].

## **3.2 Aplikace adhezních systémů**

Nanášecí systémy pro adheze – PSA (viz. kapitola 3.1.1) jsou různé. Počátkem 70. let došlo k vysokému rozvoji strojů pro nános adheze a také k vývoji nových způsobů nanášení adheze v důsledku vývoje nových lepidel.

Nanášení PSA je laminační proces. Proces lze rozdělit na přímý nános adheze nebo na přenosový nános. U přímého nánosu je adheze nanesena na jednu z komponent, následně zasušena a přidána druhá komponenta. U nánosu přenosem je adheze nanesena na substrát (silikonový papír), zasušena a přenesena na jednu z komponent. U této metody je nutné dbát, aby během sušení nedošlo k poškození povrchu materiálu a k vytvoření vzduchových bublin. Výběr mezi přímým a přenosovým nánosem ovlivňuje přilnavost PSA k materiálu. Parametry, které musí být při procesu kontrolovány, jsou: sušící teplota, rychlost aplikace adheze, tlak mezi přitlačnými válci a musí se také regulovat vlhkost okolního prostředí [17]. Obrázek 2. zobrazuje zařízení pro aplikaci PSA, který využívá přímého i přenosového nánosu. V případě nánosu přenosem je velmi důležité znát vlastnosti adheze vzhledem k substrátu. Použití silikonového substrátu vedlo k vývoji tak, že v řadě se zdvojily přenosové systémy pro PSA [18].

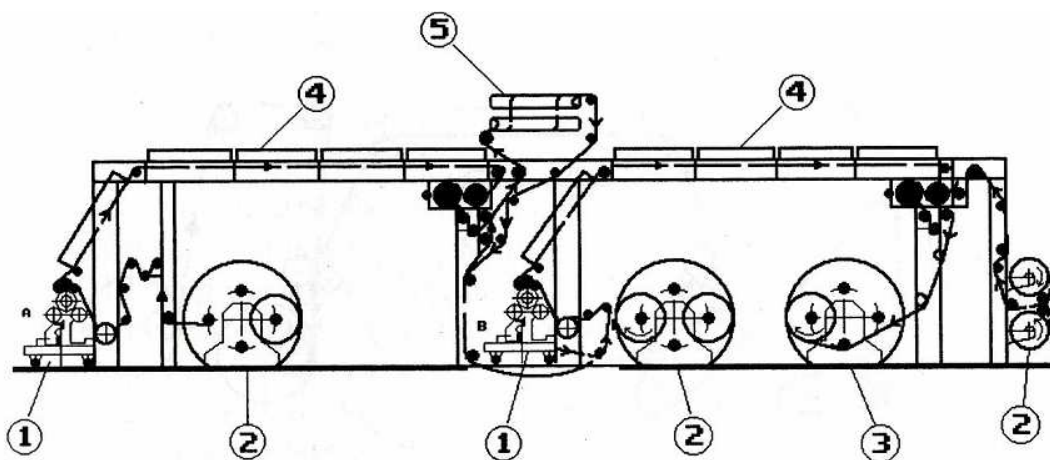


Obrázek 2: Zařízení pro přímý a přenosový nános adheze [17].

A) nátěrová část, B) vedlejší tkanina, C) laminování, 1. odvíjecí stojan, 2. kontrola napětí tkaniny, 3. tisk, 4. nátěrové zařízení, 5. sušící zařízení, 6. převíjení.

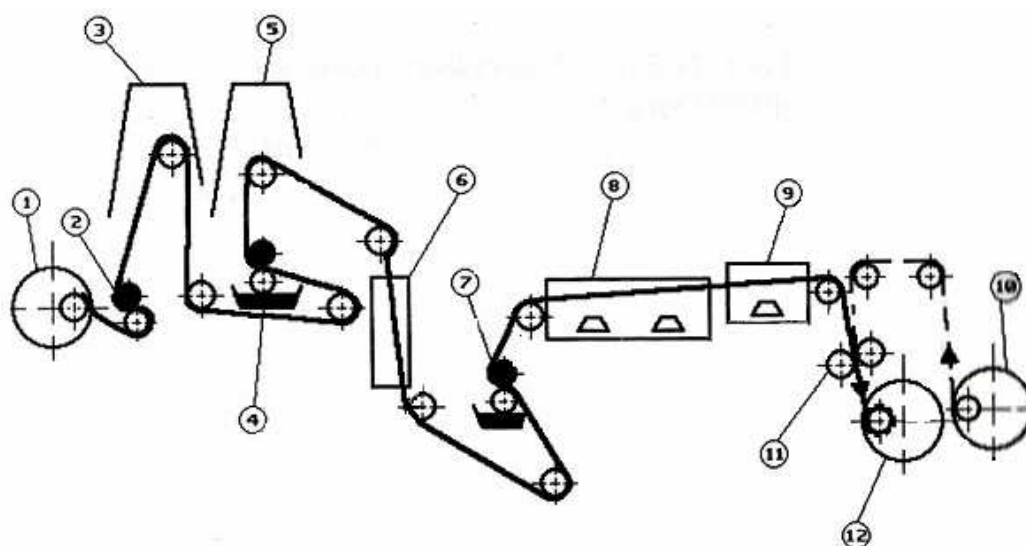
Obrázek 3 znázorňuje klasický stroj se zdvojeným nánosem. Silikonový substrát je vytvořen v první části a následně nanesen adhezní nátěr. V druhé části laminace je adhezní vrstva přenesena na nosný papír nebo film.

V některých případech je stroj vybaven tiskem zadní strany materiálu (obr. 4). Stroj tedy může být složený z procesů nátěru a vrstvení nebo vrstvení a tisk, kdy zařízení jsou umístěna za sebou [19].



Obrázek 3: Klasický nátěrový stroj se zdvojeným nánose [17].

1. nátěrové zařízení, 2. odvíjecí stojan, 3. převíjení, 4. sušící zařízení, 5. dopravník.



Obrázek 4: Přímý nátěr [17].

1. odvíjecí stojan, 2. tiskárna, 3. sušicí zařízení, 4. základní nátěrová jednotka, 5. sušicí zařízení, 6. chlazení, 7. zařízení pro nátěr PSA, 8. sušicí zařízení, 9. chlazení a zvlhčování, 10. odvíjecí stojan, 11. vrstvení, 12. převíjení.

### 3.2.1 Zařízení pro nános adhezních systémů

Zařízení pro nátěr adhezních systémů zahrnuje následující hlavní části:

- odvíjecí stojan,
- zařízení pro napínání materiálu,
- hlavní nátěrová jednotka,
- sušicí zařízení,
- ochlazovací zařízení,
- navíjení.

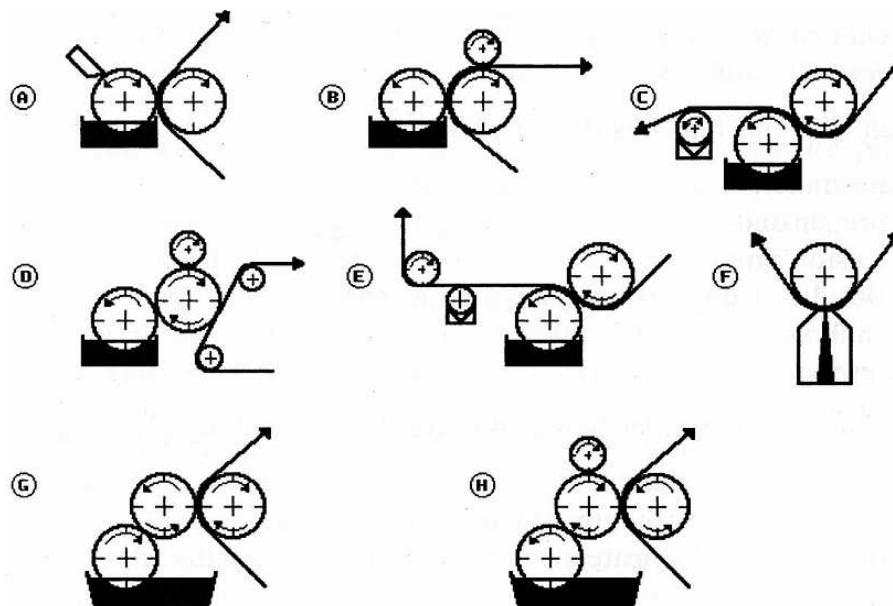
### 3.2.2 Nátěrový systém

Z teoretického hlediska je systém nátěru založený na noži (ostří) a na rotačním válci. Vhodné geometrie nátěrových hlav jsou zobrazeny na obrázku 5. Možnosti nátěrového systému jsou:

- přímý přenos – nožem přes válec,
- přímý přenos – nožem přes pomalý, rotující válec,
- dotykový nátěr – nožem přes protisměrný válec,
- víceválcový nátěr – přímý nános,
- nátěr přes protisměrný válec – nožem přes válec nebo protisměrný válec.



Pro nános disperzí se také používá drážkové razidlo, které se využívá pro adhezní systémy, která jsou citlivá na vlhkost, nebo když se vyžaduje jen určitá část lepivého nánosu [20]. Nános adheziva přes protisměrný válec umožňuje snadno regulovat plošnou hmotnost nánosu. Tento proces je limitován nižší plošnou hmotností nánosu adheziva. Pro nános se využívá i starší způsob - vzdušný nůž. V případě použití jednoválcového systému, válec nabírá adhezivum a vytváří nános na tkanině. Další možností je víceválcové zařízení, kde se nejprve provede předdávkování adheziva přes válec a konečné dávkování se provede přes vzdušný nůž. Zařízení pro nános je velmi mnoho, záleží jen na požadavcích u výrobku a na typu adheziva [17].



Obrázek 5: Nátěrové systémy [17].

A) přímý nános adheziva nožem přes válec, B) přímý nános adheziva nožem přímo na tkaninu C) přímý nános adheziva D) dotykový nános adheziva E) přímý nános adheziva vzdušným nožem F) přímý nános adheziva drážkovým razidlem G) přímý víceválcový nános adheziva H) nános adheziva přes protisměrný válec.

### 3.3 Použité adhezní systémy

Pro experimentální část byly použity adhezní systémy citlivé na tlak – PSA (viz. kapitola 3.1.1) od firmy BASF a Collano.

- **ACRONAL V 210**

Acronal je vodná disperze na bázi kopolymeru: akryl–ester, který obsahuje karboxylové skupiny. Má formu bílé kapaliny bez zápachu. Vyznačuje se dobrými vlastnostmi při nízkých teplotách, odolností vůči vodě a velmi vysokou pevností. Aplikuje se na PVC, PES, PE, PP povrchy. Disperze je částečně alkalická. Pro zvýšení viskozity, čehož se docílí přidáním malého množství záhustky, se zvýší hodnota pH. Smáčivost se zlepšuje přidáním detergentu (PAL). Disperze se může aplikovat pomocí nátěru, ostří, válečku nebo postříkem.

*Vlastnosti disperze Acronal V 210:*

➤ pH	3,5 – 6
➤ hustota	1,01 g/cm <sup>3</sup>
➤ mísitelnost s vodou	ano
➤ viskozita	150 -900 mPa.s (23 °)
➤ obsah sušiny	68-70 %

- **ACRONAL LA 471 S**

Je vodná disperze, bílé barvy s aromatickým zápachem, která se používá pro pojení netkaných textilií a pro impregnační nátěry tkaných a pletených výrobků. Je to kopolymer akryl–ester v kombinaci s akrylonitrilem.

*Vlastnosti disperze Acronal La 417 S:*

➤ pH	5 – 6
➤ hustota	1,07 g/cm <sup>3</sup>
➤ mísitelnost s vodou	ano
➤ viskozita	15 – 200 mPa.s (23 °C)
➤ obsah sušiny	51 %

- **ACRONAL S 560**

Je vodná disperze, která se používá pro pojení netkaných textilií a impregnační nátěry tkaných a pletených výrobků. Má bílé zabarvení a slabě aromatický zápach. Je to kopolymer akyl–ester v kombinaci se styrenem a acrylonitrilem.

*Vlastnosti disperze Acronal S 560:*

➤ pH	8
➤ hustota	1,02 g/cm <sup>3</sup>
➤ mísitelnost s vodou	ano
➤ viskozita	370 mPa.s (23 °C)
➤ obsah sušiny	50 %

- **COLLANO DP 114**

Je čirá vodná disperze s charakteristickým zápachem na bázi akrylátu ve formě kapaliny. Není toxická a pro reaktivní účinky není vhodné mražení.

*Vlastnosti disperze Collano DP 114:*

➤ pH	7,5
➤ hustota	1,0 g/cm <sup>3</sup>
➤ viskozita	3500 mPa.s (20 °C)
➤ obsah sušiny	51 %

- **COLLANO DP 7011**

Je bílá vodná disperze na bázi akrylátu a APEO s charakteristickým zápachem ve formě kapaliny. Není toxická ani reaktivní.

*Vlastnosti disperze Collano DP 7011:*

➤ pH	7,5
➤ hustota	1,0 g/cm <sup>3</sup>
➤ viskozita	7000 mPa.s (20 °C)
➤ obsah sušiny	60 %

- **COLLANO DP 7006**

Je bílá vodná disperze na bázi ter-polymeru (vinylacetat, VeoVa a acryl) ve formě viskózní kapaliny. Není toxická a pro reaktivitu není vhodné mražení.

*Vlastnosti disperze Collano DP 7006:*

➤ pH	6,0
➤ hustota	1,0 g/cm <sup>3</sup>
➤ viskozita	7000 mPa.s (20 °C)
➤ obsah sušiny	60 %

- **COLLANO DP 7008**

Je vodná disperze na bázi kopolymeru (VeoVa a acryl) ve formě kapaliny s charakteristickým zápachem. Není toxická.

*Vlastnosti disperze Collano DP 7008:*

➤ pH	6,0
➤ hustota	1,0 g/cm <sup>3</sup>
➤ viskozita	6000 mPa.s (20 °C)
➤ obsah sušiny	60 %

## **4. Elektrostatické zvlákňování**

Elektrostatické zvlákňování je způsob výroby ultra jemných vláken z polymerního roztoku nebo polymerní taveniny pomocí elektrostatických sil. Častěji jsou ale zvlákňovány polymery ve formě roztoku, protože vyšší viskozita polymerních tavenin nedovoluje utváření jemných vláken. Touto metodou byly již zvlákněny různé druhy polymerů přírodních i syntetických. Nanovlákná jsou vlákna, jejichž průměr se pohybuje v sub-mikronovém rozsahu. Elektrostaticky zvlákněná nanovlákná mají řadu významných vlastností, které je činí výbornými kandidáty pro širokou škálu aplikací jako vysoce účinné filtry, separační membrány, výztuhy pro kompozitní materiály, biologické aplikace, tkáňové inženýrství, ale i jako nanoelektrická zařízení a vodíkové nádrže pro palivové články. Je možné tvrdit, že nanovlákná patří mezi materiály budoucnosti.

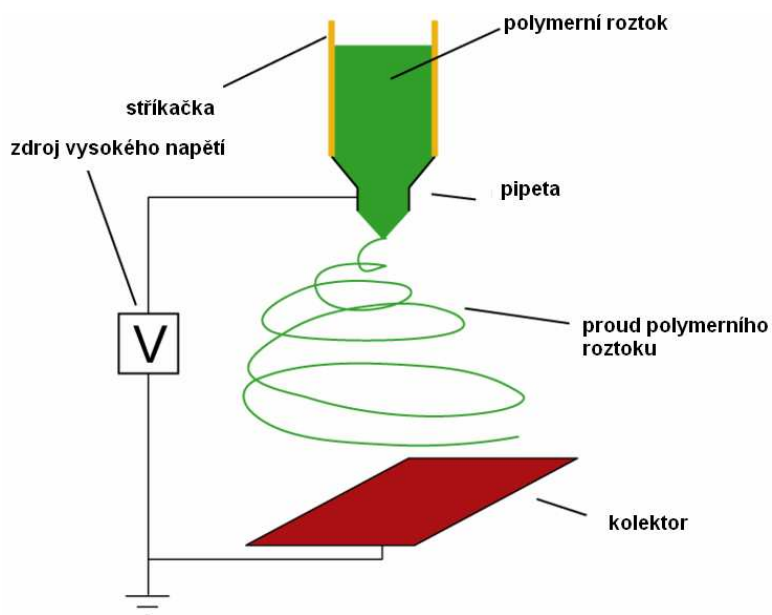
Velmi jemná vlákna s průměrem vláken řádově v nanometrech se vyznačují několika významnými vlastnostmi jako je velký měrný povrch vláken, což je poměr povrchu vláken k jejich objemu, velká pórovitost vlákenné vrstvy a malý rozměr pórů. Tyto význačné vlastnosti činí polymerní nanovlákna optimálními kandidáty na mnoho důležitých aplikací. Přesná definice nanovláken neexistuje. Obecně jsou popisována jako vlákna, jejichž průměr se pohybuje v submikronové oblasti, tedy v rozsahu do 1000 nm [7].

## **4.1 Proces elektrostatického zvlákňování**

V procesu elektrostatického zvlákňování (obr. 6) je využito vysoké napětí k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerního roztoku nebo taveniny. Elektroda vysokého napětí je spojena přímo s polymerním roztokem. Roztok je následně zvlákňován kapilárou (zvlákňovací tryskou). Díky vysokému elektrickému napětí mezi špičkou kapiláry a uzemněným kolektorem vzniká tzv. Taylorův kužel na špičce kapiláry, z kterého jsou produkována submikronová vlákna.

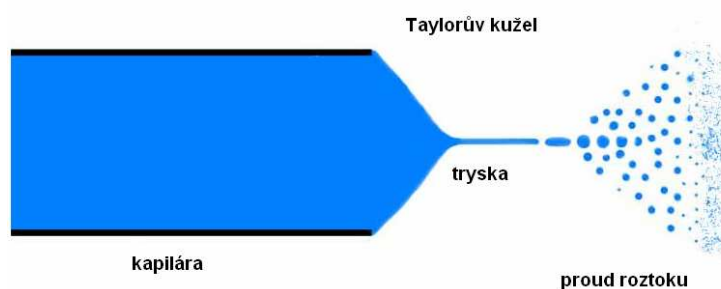
Taylorův kužel je následkem relaxace indukovaného náboje k volnému povrchu kapaliny na výstupu ze zvlákňovací trysky. Následuje vytlačování nabité kapaliny. Vlákna ztuhnou po odpaření rozpouštědla a vytvoří vlákennou vrstvu na povrchu kolektoru. Nabité proud se zrychluje a ztenčuje v elektrickém poli, nakonec narazí na uzemněnou protielektrodu kolektoru, na které se usadí. Za jistých podmínek se kapalinový proud stává nestabilním před dosažením kolektoru.

U kapalin nízké molekulární hmotnosti má počátek nestability za následek spršku malých, nabitých kapiček, v procesu známém jako elektrostatické rozprašování. Polymerní kapaliny jsou viskóznější a viskoelastické síly stabilizují proud, což dovoluje formaci nabitých vláken malého průměru, které ztuhnou a uloží se na kolektoru ve formě netkané textilie [7].



Obrázek 6: Schéma principu elektrostatického zvlákňování [22].

V důsledku elektrického pole mezi kapilárou a kolektorem je na povrchu kapaliny indukován elektrický náboj. Vzájemná odpudivost nábojů a jejich přiblížení k opačné elektrodě způsobí sílu přímo opačnou povrchovému napětí. Jak intenzita elektrického pole vzrůstá, hemisférický povrch kapaliny ve špičce kapilární trubičky se prodlužuje, až tvoří kuželový tvar známý jako Taylorův kužel (obr. 7). Dalším zvýšením elektrického pole je dosaženo kritické hodnoty, při které odpudivá elektrostatická síla překoná povrchové napětí a ze špičky Taylorova kuželu je vypuzen nabitý proud kapaliny. Vytékající proud polymerního roztoku podstoupí nestability a proces prodlužování, což způsobí, že se proud stane velmi dlouhým a tenkým. Mezitím se odpaří rozpouštědlo a zanechá po sobě nabitě polymerní vlákno. V případě taveniny vytékající proud ztuhne na své dráze vzduchem od kapiláry ke kolektoru [7].



Obrázek 7: Taylorův kužel [22].

## 4.2 Technologie Nanospider

Technologie Nanospider pro tvorbu vláken nepoužívá trysky ani kapiláry, ale váleček částečně ponořený do roztoku polymeru. Tento váleček se otáčí kolem své osy a přitom se na jeho povrchu tvoří tenký film roztoku polymeru. V horní úvrati rotačního pohybu válce, což je současně místo s nejmenší vzdáleností od kolektoru (protielektrody), se v důsledku maximální síly elektrického pole začnou vytvářet mnohačetná ohniska Taylorových kuželů, která následně vyústí v proces elektrostatické zvlákňování [15].

## 5. Technologie spun-bond

Název technologie je odvozen z anglických výrazů zvlákňování a pojení. Někdy se používá označení „výroba pod hubicí“. Proces výroby textilií postupem spun-bond lze členit do následujících fází:

- tavení polymeru, který je předkládán ve formě granulátů,
- zvlákňování pomocí zvlákňovacích trysek,
- odtah od hubice, případně dloužení,
- rozkládání filamentů na plochu pohybujícího se sítového dopravníku,
- zpevňování vlákenné vrstvy,
- ořezávání okrajů a navíjení.

Pod zvlákňovací hubicí se v procesu spun-bond vlákna mohou odtahovat několika způsoby:

- gravitační silou, výsledkem jsou málo pevné textilie z nekonečných vlákenného,
- vzduchovou odtahovací tryskou, výsledkem jsou textilie z částečně dloužených vláken,
- galetami s případným dloužením mezi jedním nebo více páry galet, výsledkem jsou vysoce pevné textilie z vydložených vláken.

Vlákna po vychlazení, případně po vydložení, je nutno rozložit rovnoměrně na plochu pohybujícího se dopravníku, na němž tak vzniká vlákenná vrstva. To se může uskutečnit několika způsoby:

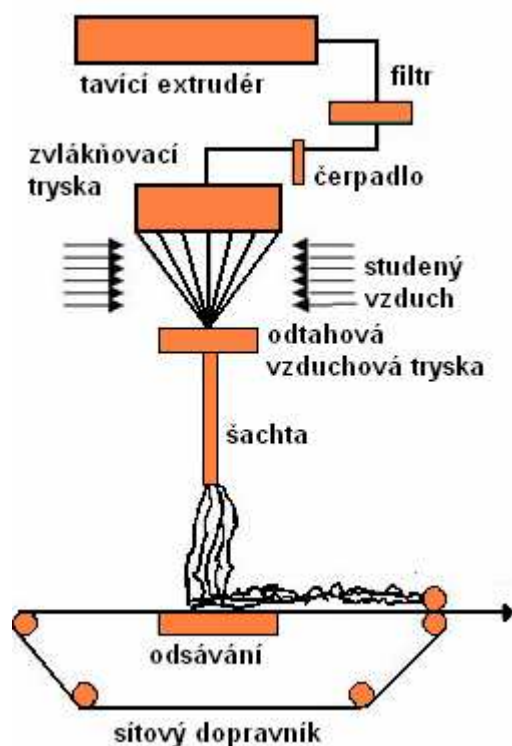
- přímým ukládáním vláken z dostatečně široké zvlákňovací trysky,

- elektrickým nabitím vláken ve vzduchové odtahovací trysce, které způsobuje, vzájemné odtahování jednotlivých fibril,
- rozmítáním svazku vláken pod odtahovací vzduchovou tryskou výkyvnou destičkou,
- výkyvným pohybem odtahovací vzduchové trysky,
- odtahem a ukládáním v celé šíři.

Vytvořené vlákenné vrstvy se mohou zpevnit několika způsoby:

- vzájemným slepením neúplně vychlazených nedlouhých vláknenného,
- chemickým nebo tepelným pojením,
- vpichováním.

Textilie spun-bond nacházejí široké použití v oblasti zdravotnických výrobků, geotextilií, filtry [4].



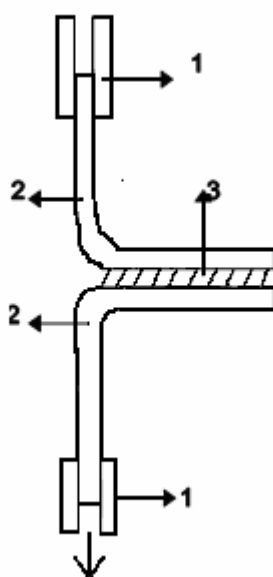
Obrázek 8: Schéma technologického procesu spun-bond.



## 6. Vybrané zkušební metody

### 6.1 Stanovení pevnosti spoje - Gardonův test

V testu se vyhodnocuje velikost síly potřebné k porušení adhezního spoje mezi dvěma proužky textilie šířky  $L$ . Výsledkem testu je i vizuální kontrola pojených povrchů. Hodnotí se přitom, v jakém prostředí dochází k porušení (zda se kohezně porušuje textil či adhezivo, nebo zda se porušuje přímo adhezní vazba mezi pojivem a textilem). Bylo zjištěno, že k dosažení pevného spoje stačí pouze tenká mezivrstva adheziva [8].



Obrázek 9: V Gardonově testu je dvojice proužků textilií (2) spojených k sobě adhezivem (3) vložena do čelistí trhacího přístroje (1).

### 6.2 Testování prodyšnosti podle normy Edana 140.1-81

Prostup vzduchu, jinak též zvaná prodyšnost, je vlastnost, která ovlivňuje fyziologický komfort textilií zásadním způsobem. Se vzduchem textilií prostupuje také vlhkost a teplo. Podobně jako u prostupu tepla, také zde hovoříme o určitém gradientu prostupu, který se nazývá tlakový spád, což je rozdíl tlaků před a za textilií. Tlak před textilií je větší než za textilií.

Přístroj pro měření prostupu vzduchu sestává z ventilátoru, který odsává vzduch z čelisti, ve které je upnut vzorek textilie. Čelist má kruhový charakter o definované ploše. Množství nasávaného vzduchu při nastaveném tlakovém spádu  $\Delta p$  je měřeno tzv.

rotametrem, což je trubice o přesně stanovené světlosti (vnitřní průměr), ve které je umístěn plováček. Podle výše plováčku v trubici se stanoví množství vzduchu, které prošlo textilií [16].

Prodyšnost  $Pr$  ( $l \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1}$ ) měřená při konstantním tlakovém spádu určeným příslušnou normou a dána vztahem:

$$Pr = \frac{Q}{A} \quad \begin{array}{l} Q \dots \text{tok vzduchu } [m^3/sec] \\ A \dots \text{plocha vrstvy kolmá ke směru toku } [m^2]. \end{array} \quad (2)$$

### 6.3 Odolnost textilie proti oděru

Zkoušky odolností v oděru jsou simulační zkoušky, které napodobují, jak dlouho textilie snese namáhání (odírání) při praktickém používání (nošení, povlečení na postel, technické užívání, atd.). Toto namáhání může být realizováno jako odírání textilie o textilií, odírání textilie o hladký pevný povrch (židle, hrana stolu), odírání textilie o drsný pevný povrch (cihly, tvárnice v případě pracovních oděvů a pracovních pomůcek).

Principem zkoušení je vzájemný pohyb dvou stýkajících se čelistí, kde na jedné čelisti je napnuta zkoušená textilie a na druhé čelisti je upevněn odírající materiál (např. brusný papír). Čelisti jsou k sobě přitlačovány předepsanou silou a jsou ve vzájemném relativním rotačním pohybu (např. jedna čelist se otáčí a druhá je statická) [16].

## 7. Statistické charakteristiky

Charakteristiky polohy a variability byly využity pro vyhodnocení naměřených dat.

### 7.1 Charakteristika polohy

Tato poloha udává střed (úroveň) celé skupiny, kolem kterého všechny hodnoty kolísají.

#### Aritmetický průměr $\bar{x}$

Je definován jako součet všech hodnot znaku dělený jejich počtem. Vyjádřeno vzorcem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

### 7.2 Charakteristiky variability

Udávají koncentraci nebo rozptýlení (variabilitu) hodnot kolem zvoleného středu skupiny.

#### Rozptyl $s^2$

Je definován jako součet kvadratických odchylek od průměru dělený rozsahem výběru zmenšeným o hodnotu 1. Vyjádřeno vzorcem:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

#### Směrodatná odchylka $s$

Je vyjádřen jako odmocnina rozptylu, používá se pro charakterizování variability. Rozptyl a směrodatná odchylka (jeho druhá mocnina) je kritérium, které nám určuje věrohodnost průměru. Malé hodnoty rozptylu zvyšují význam průměru, velké hodnoty znamenají, že hodnoty znaku mají vysokou variabilitu [9].

# Experimentální část

## 8. Plán experimentu

Pro experimentální část byly nejprve zvoleny body jednotlivých postupů:

1. Příprava vzorků pro testování jednotlivých adhezních systémů a zkouška lpění vrstev.
2. Sledování vlastností jednotlivých adhezních systémů k podkladovému materiálu (měření kontaktního úhlu mezi pevným povrchem a tečnou k povrchu kapky disperze, a také měření povrchového napětí u jednotlivých disperzí).
3. Nanášení adhezních systémů na textilií spun-bond, tvorba adhezní vrstvy a měření plošných hmotností vzorků.
4. Výroba nanovláknenných vrstev z polyuretanu na již vytvořené adhezní vrstvy na textilií spun-bond.
5. Mechanická zkouška oděru, zkouška prodyšnosti a vyhodnocení výsledků měření.

## 8.1 Stanovení pevnosti spoje pomocí zkoušky lpění vrstev

### Příprava vzorků:

Pro přípravu vzorků byla použita polypropylenová fólie, textilie spun-bond a dané adhezní systémy. Základní charakteristika adhezních systémů je uvedena v kapitole 3.3. Tyto dva materiály byly vybrány za předpokladu, že budou mít větší pevnost, než bude pevnost adhezního spoje.

Fólie a textilie byly nastříhány na vzorky o velikosti 150 mm x 30 mm. Na jednu polovinu vzorku polypropylenové fólie byla pipetou nanесena disperze o hmotnosti 0,01 g a rovnoměrně rozetřena laboratorním sklíčkem. Vzorek z textilie spun-bond se nanесl na vzorek z polypropylenové fólie a zatížen 1 kg.

### Stabilizace vzorku:

Stabilizace vzorků byla provedena v sušárně, která je umístěna v laboratoři KNT. Maximální dosažitelná teplota sušárny byla 100 °C.

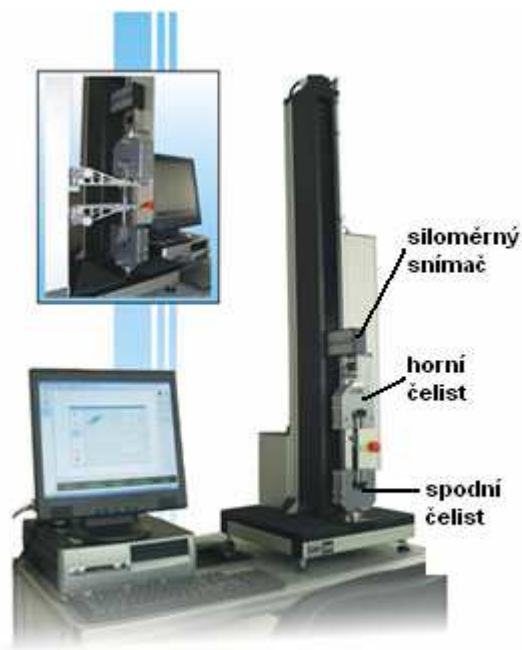
Vorek byl vložen do sušárny po dobu 2 min. Odpařením vodné části disperze došlo k aktivaci adheziva.

### Zkouška lpění vrstev:

Zkouška lpění vrstev pomocí Gardonova testu byla provedena na univerzálním zkušebním přístroji LabTest 4.050 (obr. 10). Tento přístroj je určen pro mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu a pro statické a dynamické namáhání.

V místě spoje mezi fólií a textilií spun-bond pomocí adheze byla měřena pevnost spoje a výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 2 a znázorněny v grafu na obrázku 11.

U většiny vzorků bylo možné od sebe fólii a textilii spun-bond oddělit bez poškození materiálu, protože pevnost v místě adhezního spoje byla nižší než pevnost obou materiálů. U tří vzorků nebyl Gardonův test proveden, z důvodu oddělení materiálů pouhou manipulací.



Obrázek 10: Zkušební přístroj LabTest 4.050 [14].

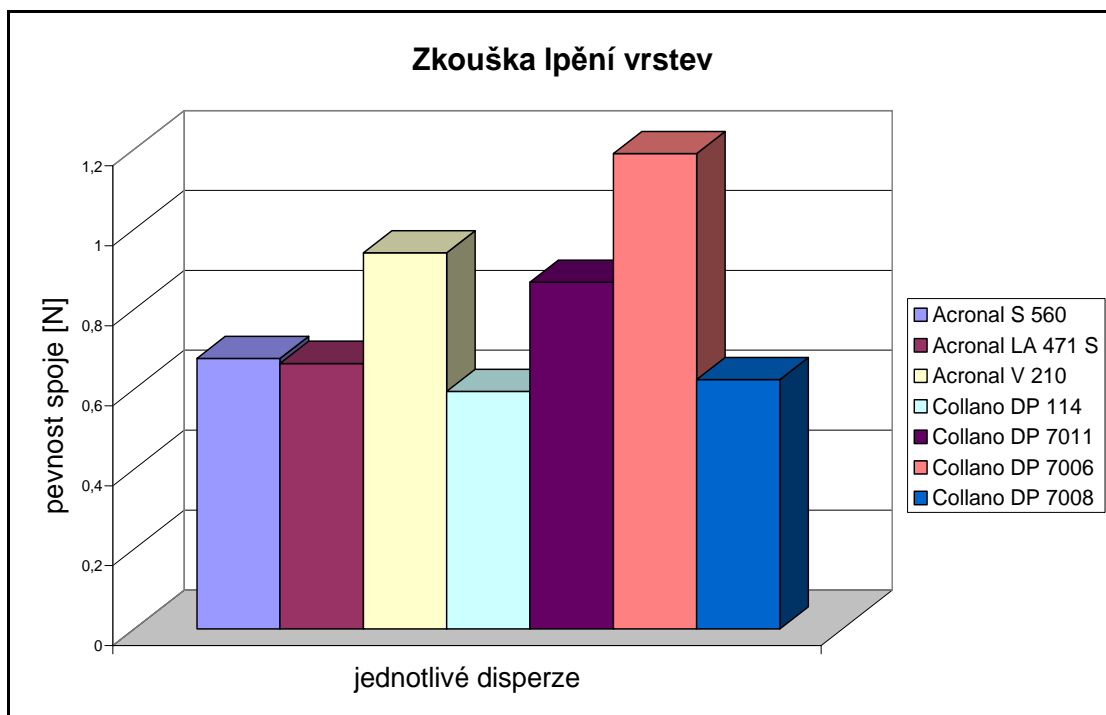
Parametry přístroje LabTest 4.050:

- dráha 120 mm,
- upínací délka 100 mm.

Tabulka 2: Naměřené a průměrné hodnoty zkoušky pevnosti spoje.

měření	Acronal S 560	Acronal LA 471 S	Acronal V 210	Collano DP 114	Collano DP 7011	Collano DP 7006	Collano DP 7008
1. [N]	x	0,641	0,953	0,575	0,764	0,985	0,866
2. [N]	0,677	0,665	0,846	0,598	0,960	1,607	0,821
3. [N]	x	0,685	1,025	0,610	0,877	0,974	0,185
$\bar{x}$ [N]	<b>0,677</b>	<b>0,664</b>	<b>0,941</b>	<b>0,594</b>	<b>0,867</b>	<b>1,189</b>	<b>0,624</b>

x – polypropylenová fólie a textilie spun-bond se oddělily pouhou manipulací vzorku



Obrázek 11: Graf pevnosti spoje.

## 8.2 Měření kontaktního úhlu

### Příprava vzorku:

Pro každou disperzi byl připraven pevný povrch o velikosti 7 mm x 7 mm z textilie spun-bond a z filtračního papíru. Vzorky byly jednotlivě připevněny k rovinné desce a pomocí injekční stříkačky bylo nanášeno 5 kapek adheziva na oba připravené vzorky. Každá kapka disperze na daném vzorku byla vyfocena.

### Měření kontaktního úhlu:

Měření kontaktního úhlu mezi pevným povrchem a tečnou k povrchu kapky disperze, bylo provedeno pomocí softwaru LUCIA G, kdy u každé kapky disperze byl měřen kontaktní úhel z levé i pravé strany. Průměrné hodnoty jsou uvedené v tabulce 3 a naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze A. Kapky jednotlivých disperzí na textilií spun-bond, tak na filtračním papíru lze vidět na obrázku 13 – 19.



Obrázek 12: Kontaktní úhel.

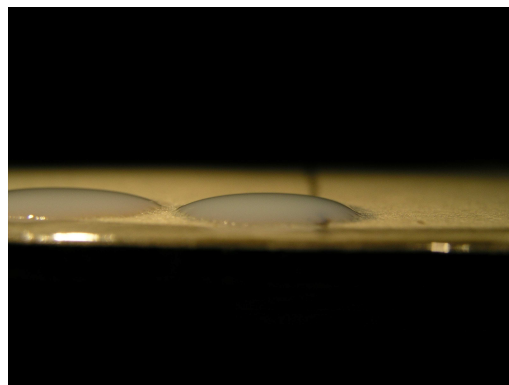
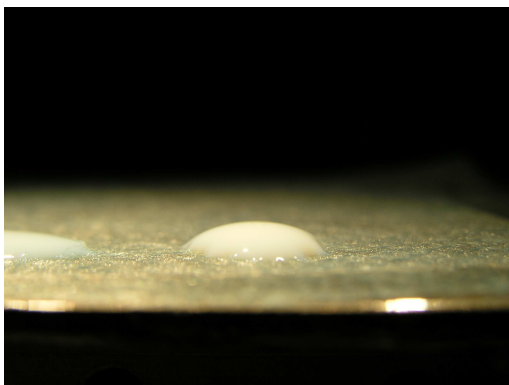
Tabulka 3: Průměrné hodnoty kontaktních úhlů.

vzorek	Textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
	levá strana $\bar{\theta} [^\circ]$	pravá strana $\bar{\theta} [^\circ]$	levá strana $\bar{\theta} [^\circ]$	pravá strana $\bar{\theta} [^\circ]$
<b>Acronal S 560</b>	91,6	87,4	80,4	80,8
<b>Acronal LA 471S</b>	39,8	43,8	30,2	37,4
<b>Acronal V 210</b>	86	84,6	79,6	82,4
<b>Collano DP 114</b>	115,2	113,4	104	104,2
<b>Collano DP 7011</b>	113,2	120,2	100,6	102,4
<b>Collano DP 7006</b>	112,8	106	96	95
<b>Collano DP 7008</b>	111	114	106	107,8

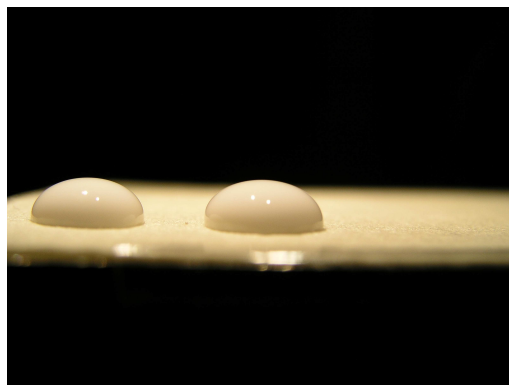


Obrázek 13: Snímky kapky disperze - Acronal S 560: na textilií spun-bond, na filtračním papíru.

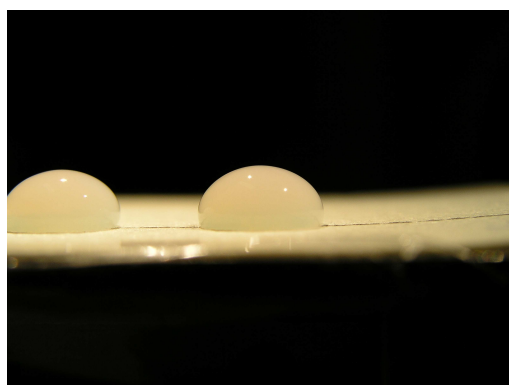
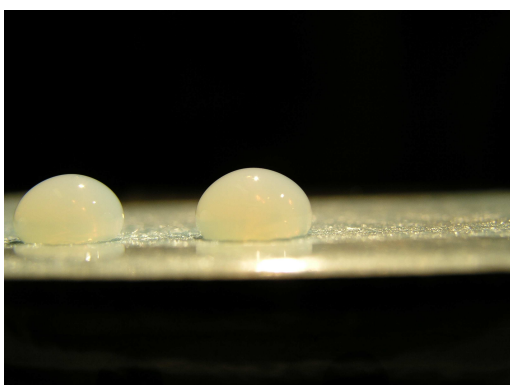




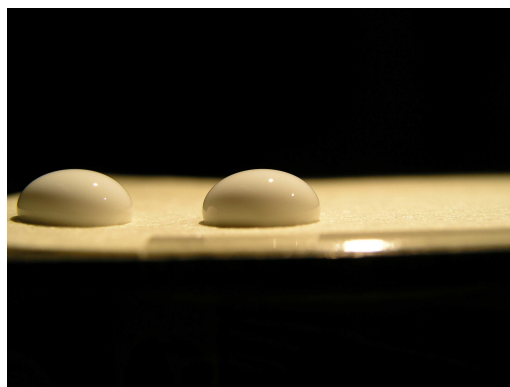
Obrázek 14: *Snímky kapky disperze - Acronal LA 471 S: na textilií spun-bond, na filtračním papíru.*



Obrázek 15: *Snímky kapky disperze - Acronal V 210: na textilií spun-bond, na filtračním papíru.*



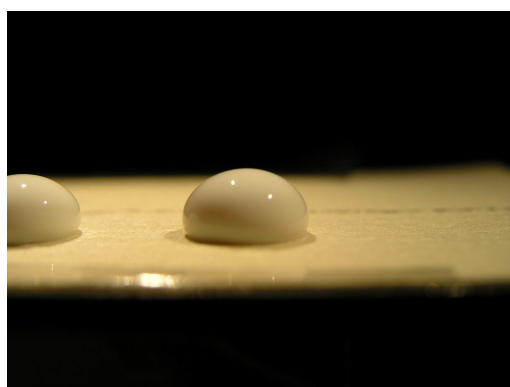
Obrázek 16: *Snímky kapky disperze - Collano DP 114: na textilií spun-bond, na filtračním papíru.*



Obrázek 17: *Snímky kapky disperze - Collano DP 7011: na textilii spun-bond, na filtračním papíru.*



Obrázek 18: *Snímky kapky disperze - Collano DP 7006: na textilii spun-bond, na filtračním papíru.*



Obrázek 19: *Snímky kapky disperze - Collano DP 7008: na textilii spun-bond, na filtračním papíru.*

### 8.3 Měření povrchového napětí

Zkouška byla provedena na digitálním TENZIOMETRU K9. Digitálním Tenzimetr K9 využívá metody měření Wilhelmyho destičkou. Po každém měření byla destička opálена nad kahanem a mistička, do které se nalívala disperze, byla čištěna acetonem a vypláchnuta pod tekoucí vodou. Wilhelmyho metoda je konvenční metoda měření „statického povrchového napětí“, tzn. získáváme informaci o zcela dotvořeném povrchu v dynamické rovnováze (destička může být udržována na nulové hladině tak dlouho, jak je potřeba).

Používá se platinové destičky o známé geometrii, jejíž povrch je kvůli lepšímu smáčení zdrsňen. Spodní hrana destičky se dostane do kontaktu s měřenou kapalinou. Kapalina „vyskočí“ a začne destičku vtahovat do kapaliny. Wilhelmyho síla, vznikající smáčením, se měří vytažením destičky zpátky k hladině (vyvážení). Jedná se o kompenzační metodu [10, 11].

Bylo měřeno všech sedm disperzí, pro každou disperzi bylo měření opakované pětkrát. Výsledné hodnoty jsou znázorněny v grafu na obrázku 21 a naměřené hodnoty jsou v tabulce 4.

Parametry Tenzimetru K9:

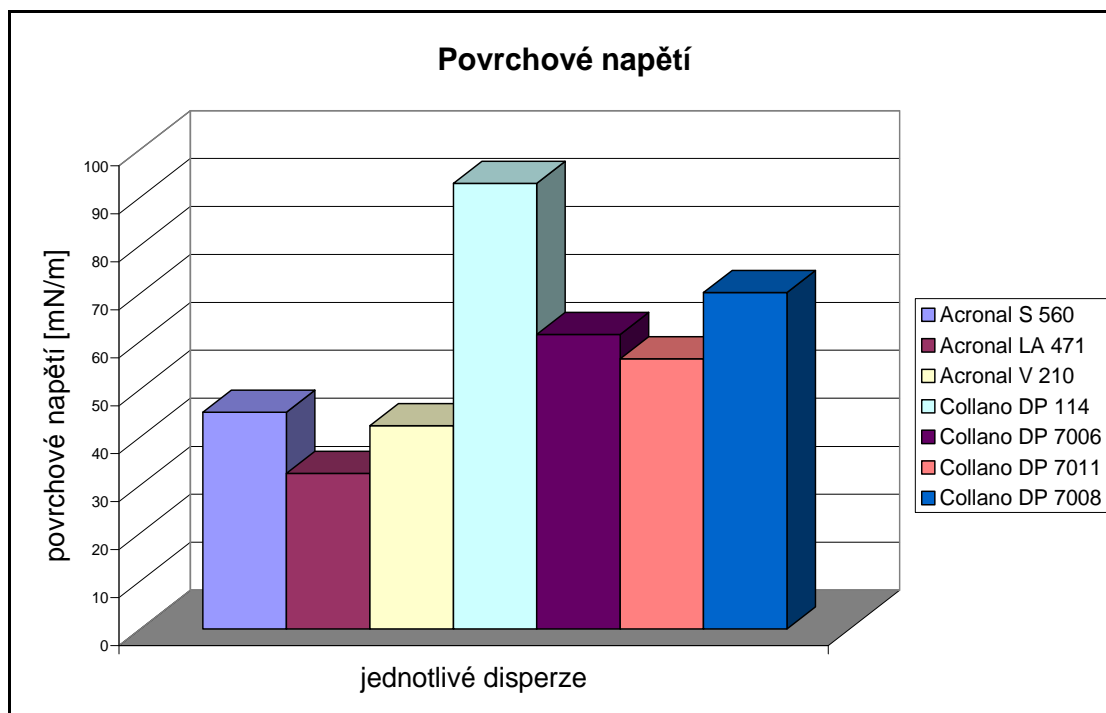
- rozsah – napětí      1 – 999 mN/m,
- hustota                1 – 2200 kg/m<sup>3</sup>,
- teplota měření        -10 + 100 °C.



Obrázek 20: Digitální Tenzimetr K9.

Tabulka 4: Naměřené hodnoty a průměrná hodnota povrchového napětí.

disperze	1. měř. [mN/m]	2. měř. [mN/m]	3. měř. [mN/m]	4. měř. [mN/m]	5. měř. [mN/m]	$\bar{x}$ [mN/m]
<b>Acronal S 560</b>	41,3	47,2	46,0	45,8	45,7	<b>45,2</b>
<b>Acronal LA 471</b>	29,6	35,6	31,8	32,9	32,1	<b>32,4</b>
<b>Acronal V 210</b>	40,8	43,1	41,2	41,5	45,1	<b>42,4</b>
<b>Collano DP 114</b>	90,1	100,6	92,9	91,9	88,9	<b>92,9</b>
<b>Collano DP 7006</b>	63,7	64,5	62,9	57,8	57,9	<b>61,4</b>
<b>Collano DP 7011</b>	54,0	49,9	59,8	59,9	58,0	<b>56,3</b>
<b>Collano DP 7008</b>	69,9	70,7	71,5	69,7	68,8	<b>70,1</b>



Obrázek 21: Graf povrchového napětí jednotlivých disperzí.

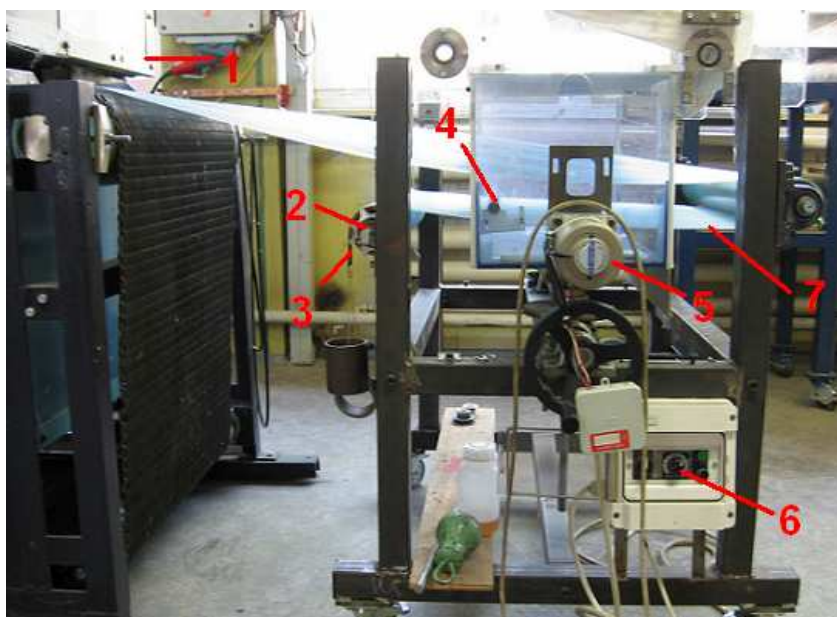
## 8.4 Aplikace adhezních vrstev

Pro nanášení adhezních vrstev byly použity tři druhy disperzí: Collano DP 7006, Collano DP 7011 a Acronal V 210. Disperze byly vybrány podle nejvyšších naměřených hodnot při stanovení pevnosti spoje pomocí zkoušky lpění vrstev, viz tabulka 2.

Od každého druhu disperze byly připraveny roztoky o 30%, 20% a 10%

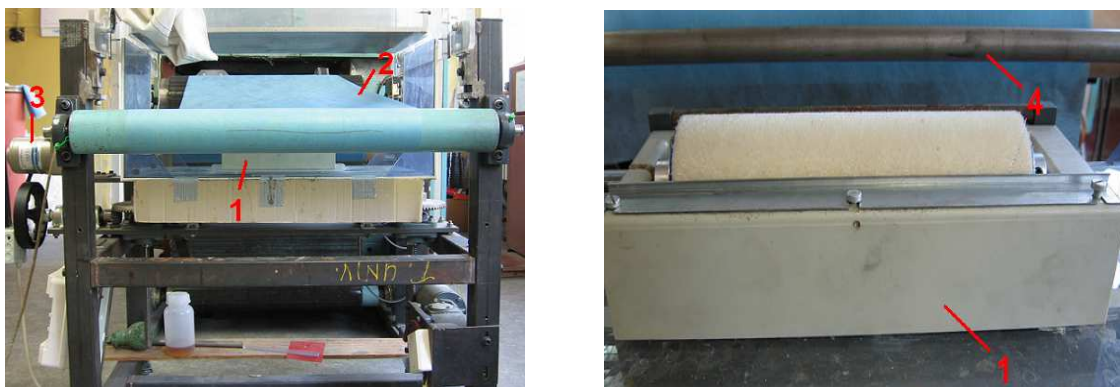
koncentraci o objemu 200 ml. Disperze byly nanášeny na textilii spun-bond od firmy Peagas, která uvádí plošnou hmotnost textilie 20g/m<sup>2</sup>.

Aplikační zařízení pro nanášení adhezních systémů bylo navrženo a zkonstruováno na Katedře netkaných textilií (obr. 22, 23). Zařízení bylo složeno z odvíjecího válce s pásovou brzdou, z něhož se textilie spun-bond odvíjela. Dále tato textilie byla vedena pod přítlačným válečkem a přes nanášecí váleček (aplikátor), který byl částečně ponořený do roztoku disperze. Nanášecí váleček byl otáčen elektromotorem, otáčky elektromotoru se daly regulovat. V průběhu nanášení disperzí, byly měněny otáčky nanášecího válečku, čímž bylo docíleno snížení nebo zvýšení výsledné plošné hmotnosti vytvořené adhezní vrstvy. Plošná hmotnost se dala také regulovat rychlostí odtahu textilie. Textilie spun-bond s nánosem disperze dále pokračovala přes sušicí komoru, kde teplota pro zasušení adhezní vrstvy byla trvale nastavena na 80 °C. Poté byla textilie se zasušenou adhezní vrstvou navinuta a připravena pro elektrostatické zvlákňování. U všech vzorků byla změřena plošná hmotnost.



Obrázek 22: Aplikační zařízení pro nános adhezních systémů.

1. sušicí komora, 2. odvíjecí válec, 3. pásová brzda, 4. přítlačný váleček,  
5. elektromotor, 6. regulace elektromotoru, 7. textilie spun-bond.



Obrázek 23: 1. vanička pro disperzi s nanášecím válečkem, 2. textilie spun-bond, 3. elektromotor, 4. přítlačný váleček.

#### 8.4.1 Aplikace disperze Collano DP 7006

Aby bylo zjištěné chování disperzí v aplikačním zařízení, byla nejprve pro vytváření adhezních vrstev zvolena disperze Collano DP 7006 10%. Nanášení vrstev bylo provedeno pomocí štětinového nanášecího válečku, který se během nanášení neměnil. Adhezní vrstva z disperze Collano DP 7006 10% se nanasla na textilií spun-bond, dále pak procházela textilie sušicí komorou, kde teplota byla nastavena na 80 °C. Nastavená teplota byla dostačující pro odpaření vodné části disperze a došlo tak k aktivaci adheziva.

Rychlost nanášecího válečku byla nejprve zvolena 4,5 ot/min, během procesu byla zvýšena na 8,5 ot/min. Rychlost odtahu textilie se během nanášení disperze také měnila. Při rychlosti odtahu textilie 0,80 m/min nedocházelo k rovnoměrnému nánosu disperze, byla tedy zvýšena na 1,25 m/min a poté na 1,80 m/min. Při této zvolené rychlosti byla disperze rovnoměrně nanasena na textilií spun-bond a po projití sušárnou se na omak jevila známka lepivosti. Při zvýšení rychlosti nanášecího válečku ze 4,5 na 8,5 ot/min, docházelo opět k nerovnoměrnému rozmístění vrstvy disperze. Byla tedy přidána zátěž na pásové brzdě odvíjecího válce pro textilií spun-bond, aby textilie byla mírně bržděna a více napnutá, čímž nános disperze byl opět rovnoměrný.

Textilie spun-bond s nanesenou vrstvou disperze byla zabalena do fólie a připravena pro změření plošné hmotnosti a pro elektrostatické zvlákňování. Pro další vhodné způsoby nánosu u ostatních adhezních systémů bylo třeba vzorky vyhodnotit optickým mikroskopem.

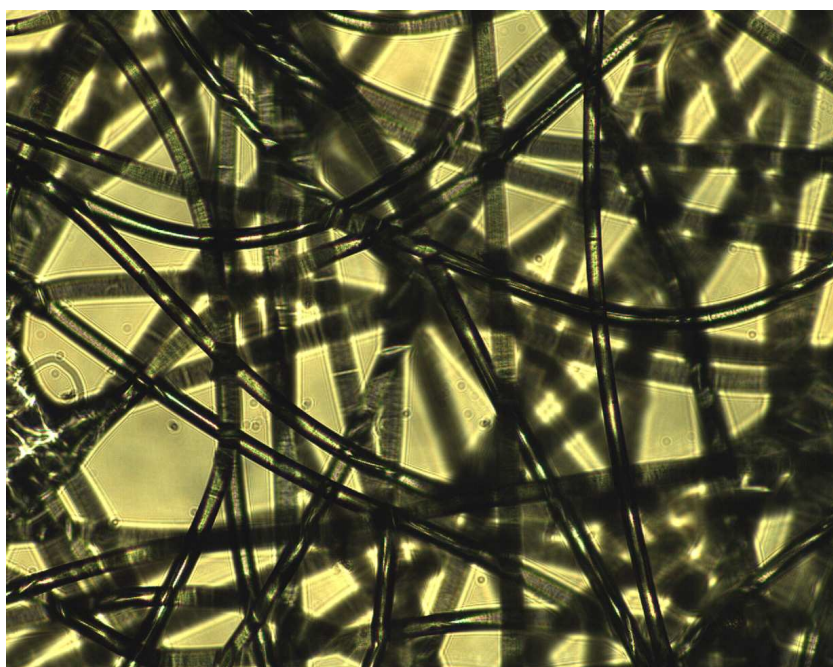


#### 8.4.1.1 Snímky z optického mikroskopu

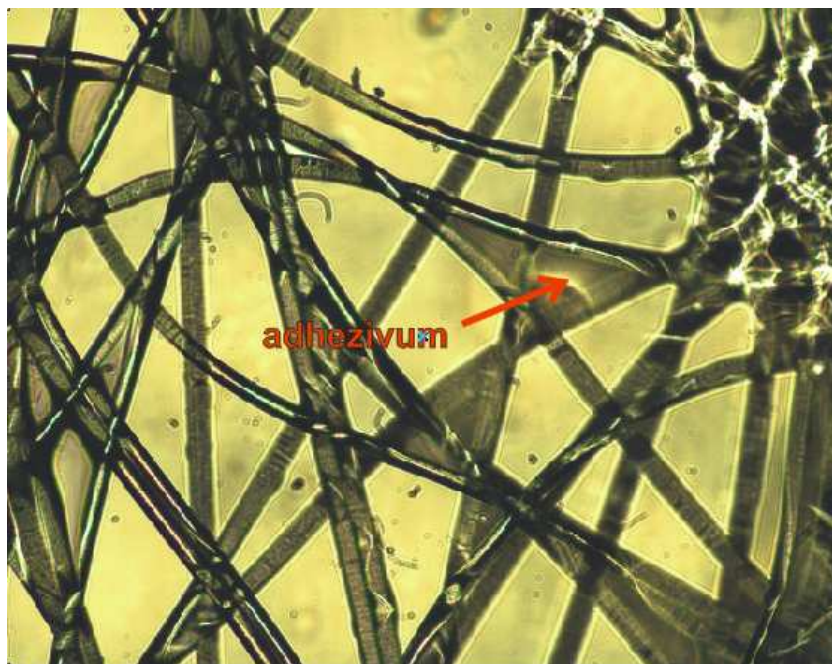
Vzorky textilie spun-bond s nanesenou disperzní vrstvou Collano DP 7006 10% byly pozorovány optickým mikroskopem. Bylo třeba zjistit, do jaké míry zaplnila disperze prostor mezi vlákny nebo zda ulpěla přímo na vláknech.

Plošné hmotnosti jednotlivých nánosů disperzí, které byly sledovány pod optickým mikroskopem, nebyly mezi sebou na pohled rozdílné. Plošnou hmotnost vzorků bylo tedy nutno změřit na laboratorních vahách.

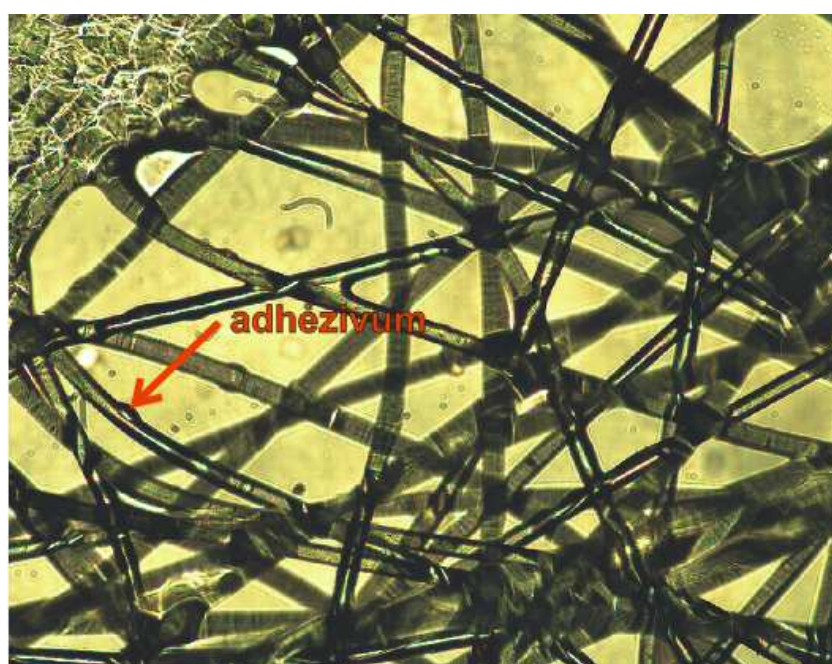
Pomocí softwaru LUCIA G byly vyhotoveny snímky jednotlivých vzorků s nánosem disperze (obr. 24-27).



Obrázek 24: Snímek z LUCIA G - textilie spun-bond bez nánosů disperze, ( zvětšení 10x).

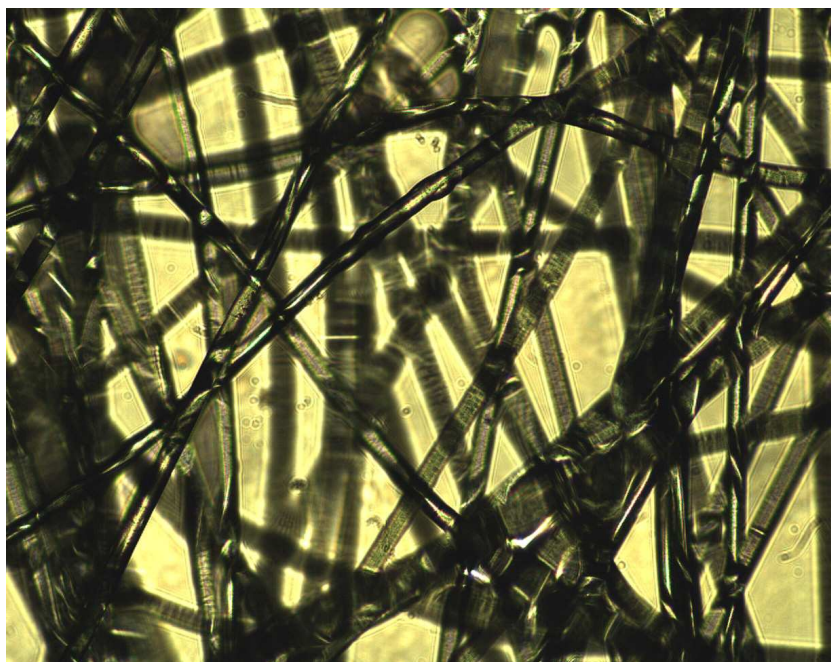


Obrázek 25: Snímek z LUCIA G - textilie spun-bond s nánosem disperze Collano DP 7006 10% (rychlost nanášecího válečku 4,5 ot/min a rychlosti odtahu 0,80 m/min).



Obrázek 26: Snímek z LUCIA G - textilie spun-bond s nánosem disperze Collano DP 7006 10% (rychlost nanášecího válečku 4,5 ot/min a rychlosti odtahu 1,25 m/min).



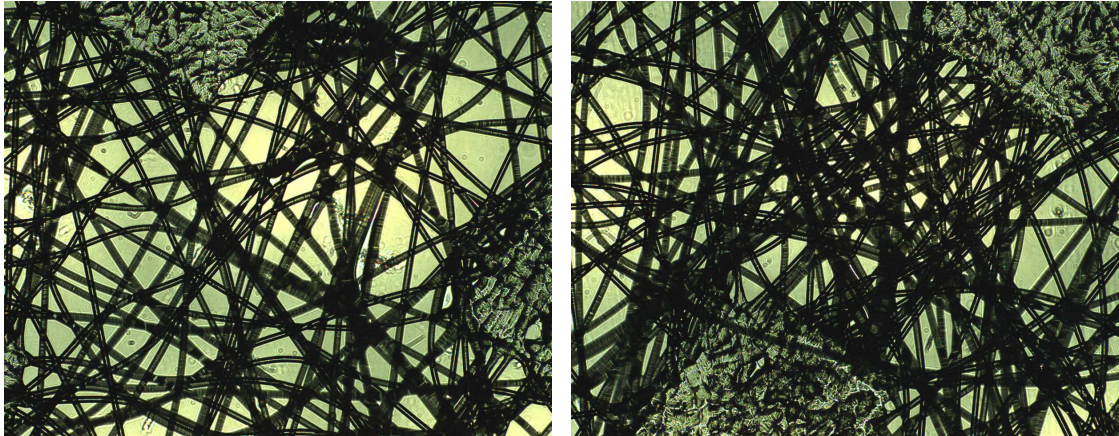


Obrázek 27: Snímek z LUCIA G - textilie spun-bond s nánosem disperze Collano DP 7006 10% (rychlost nanášecího válečku 4,5 ot/min a rychlosti odtahu 1,80 m/min).

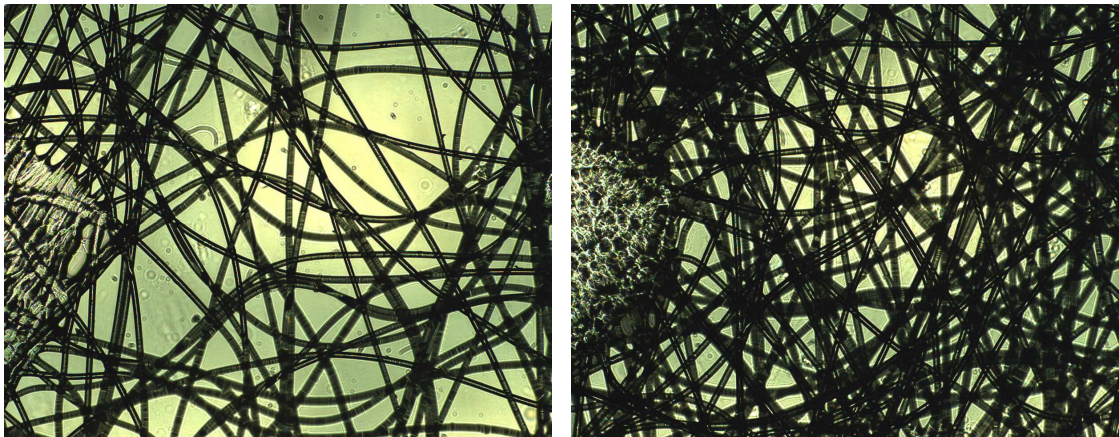
Při nanášení disperze Collano DP 7006 20% byla zvolena rychlost nanášecího válečku 4,5 ot/min a rychlost odtahu 0,80; 1,25; 1,80 m/min a teplota sušicí komory byla ponechána na 80 °C. Adhezní vrstva byla nanesena rovnoměrně po ploše textilie spun-bond, ale docházelo k výraznému prosakování disperze na rubní stranu textilie.

U disperze Collano DP 7006 30% byla tedy zvýšena rychlost otáček nanášecího válečku na 45 a 73 ot/min, rychlost odtahu byla ponechána na 0,80 m/min. Docházelo k menšímu prosakování disperze na rubní stranu, disperze byla rovnoměrně nanesena na textilií spun-bond a z části kopírovala strukturu textilie. Nános disperze byl na určitých místech textilie viditelný, tj. místo na textilií s viditelným nánosem disperze a na určitých místech se bylo třeba o nánosu disperze přesvědčit omakem, tj. místo na textilií bez viditelného nánosu disperze.

Vytvořené vzorky byly pozorovány pod optickým mikroskopem a byly vytvořeny snímky na softwaru LUCIA G (obr. 28, 29 ).



Obrázek 28: Snímky z LUCIA G - textilie spun-bond bez viditelného a s viditelným nánosem disperze při rychlosti nanášecího válečku 45 ot/min a rychlosti odtahu 0,80 m/min.



Obrázek 29: Snímky z LUCIA G - textilie spun-bond bez viditelného a s viditelným nánosem disperze při rychlosti nanášecího válečku 73 ot/min a rychlosti odtahu 0,80 m/min.

### **8.4.2 Aplikace disperze Collano DP 7011**

Pro každou koncentraci u této disperze byla ponechána vyšší rychlost nanášecího válečku 45 ot/min a rychlost odtahu byla 1,25 a 1,80 m/min. Při aplikaci disperze Collano DP 7011 ve všech třech koncentracích, byly vrstvy nanášeny rovnoměrně po ploše textilie spun-bond.

Když byla použita rychlost odtahu nižší, docházelo pouze k mírnému prosakování disperze na rubní stranu, ale pokud byla rychlost odtahu zvýšena, prosakování nebylo na pohled viditelné. Jako u předchozí aplikace disperze byla sušicí komora předehřátá na 80 °C.

### **8.4.3 Aplikace disperze Acronal V 210**

U této disperze byla použita rychlost nanášecího válečku 45 ot/min, ale také rychlost 73 ot/min. Rychlost odtahu byla opět 1,25 nebo 1,80 m/min a teplota sušicí komory byla stálých 80 °C.

Při aplikaci disperze Acronal V 210 10% byla nejprve zvolena rychlost nanášecího válečku 45 ot/min. Ať byla nastavena jedna nebo druhá rychlost odtahu, docházelo k výraznému prosakování disperze na rubní stranu textilie. Stejné chování při aplikaci měla i disperze Acronal V 210 30%, proto byla zvolena nejvyšší rychlost odtahu (1,80 m/min). Po vyjmutí vzorků s nánosem disperze o 30% koncentraci ze sušicí komory, byly na pohled vidět bílé mokré skvrny. Vysoké prosakování disperze probíhalo i u disperze o 20% koncentraci, proto rychlost nanášecího válečku byla zvýšena ze 45 ot/min na 73 ot/min. Při této rychlosti došlo pouze k nepatrnému snížení prosakování.

Všechny vytvořené vzorky byly opět zabaleny do fólie a nachystány pro změření plošné hmotnosti a na elektrostatické zvlákňování.

## **8.5 Měření plošné hmotnosti vzorků s adhezivem**

Měření plošné hmotnosti vzorků probíhalo na laboratorních vahách. Vzorky textilie spun-bond a textilie spun-bond s nánosem disperze byly nastříhány o velikosti 100 mm x 400 mm. Pro jednotlivé disperzní nánosy se připravily tři vzorky.

Plošná hmotnost textilie spun-bond byla naměřena 18 g/m<sup>2</sup>, tato hodnota byla odečtena od každé naměřené hodnoty plošné hmotnosti vzorků s disperzními nánosy. V tabulce 5 jsou uvedeny průměrné hodnoty plošných hmotností jednotlivých adhezivních vrstev a všechny naměřené hodnoty jsou zaznamenány v příloze B.

Tabulka 5: Průměrné hodnoty plošných hmotností u adhezních vrstev.

Collano DP 7006				
název vzorku	koncentrace [%]	rychlost nánosu [ot/min]	rychlost odtahu [m/min]	plošná hmotnost $\bar{x}$ [g/m <sup>2</sup> ]
A	10	4,5	0,80	1,8
B	10	4,5	1,25	1,3
C	10	4,5	1,80	1,0
D	20	4,5	0,80	6,1
E	20	4,5	1,25	5,1
F	20	4,5	1,80	4,3
G	30	45	0,80	9,5
H	30	45	1,25	7,7
CH	30	45	1,80	7,5
Acronal V 210				
název vzorku	koncentrace [%]	rychlost nánosu [ot/min]	rychlost odtahu [m/min]	plošná hmotnost $\bar{x}$ [g/m <sup>2</sup> ]
I	10	45	0,80	1,6
J	10	45	1,25	1,0
K	10	45	1,80	0,6
L	20	45	1,25	12,3
M	20	45	1,80	10,8
N	20	75	1,80	8,4
O	30	45	1,80	15,1
Collano DP 7011				
název vzorku	koncentrace [%]	rychlost nánosu [ot/min]	rychlost odtahu [m/min]	plošná hmotnost $\bar{x}$ [g/m <sup>2</sup> ]
P	10	45	1,25	3,8
Q	10	45	1,80	3,3
R	20	45	1,25	7,4
S	20	45	1,80	6,3
T	30	45	1,25	8,9
U	30	45	1,80	9,6
textilie spun-bond				18,0

## 8.6 Výroba nanovláknenné vrstvy

V dalším kroku experimentální části byla zvolena výroba nanovláknenné vrstvy z polyuretanu pomocí laboratorního zařízení Nanospider na již vyrobené vzorky textilie spun-bond s nanosenými adhezními vrstvy.

parametry stroje:

- *napětí zdroje* 77,5 kV,
- *vzdálenost elektrod* 170 mm.

klimatické podmínky:

- *vlhkost* 20,5 %,
- *teplota* 19 °C.

## 8.7 Testování vzorků

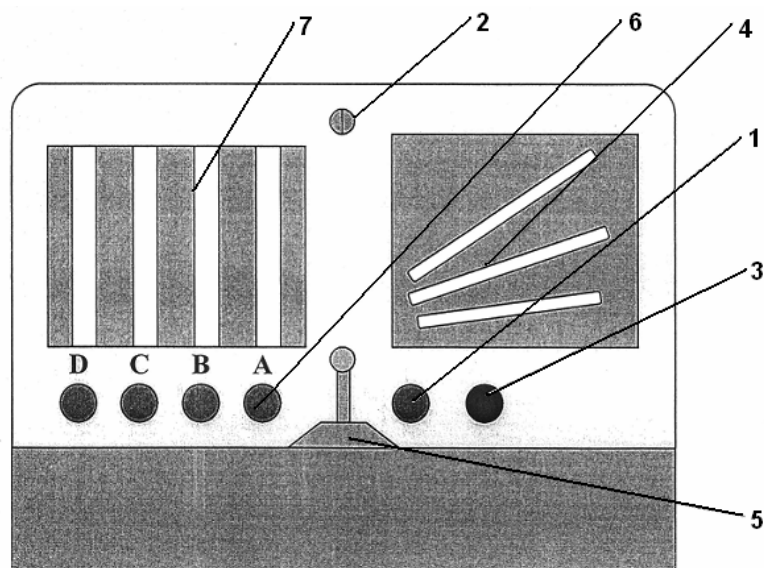
U všech vzorků, na které byla nanесena adhezní a poté nanovláknenná vrstva z polyuretanu, byla změřena prodyšnost pomocí přístroje METEFEM FF – 12/A (obr. 30) dle normy Edana 140.1-81. U tohoto přístroje je měřený vzorek (textilie) umístěn na kruhový otvor sací hlavy (plocha otvoru je 10 cm<sup>2</sup>) a shora je sevřen pákou s kruhovým otvorem. Horní svěrací hlava je opatřena gumovým páskem, pro lepší těsnění. Požadovaný spád byl nastaven manometrem na 20 mm a průtok vzduchu se odečítal na stupnici průtokoměru.

Pro srovnání byla změřena prodyšnost i u textilie spun-bond bez vrstvy disperze, ale s vytvořenou nanovláknennou vrstvou. Výsledné hodnoty jsou uvedené v tabulce 6.

Parametry přístroje METEFEM FF – 12/A:

- *velikost zkoušených ploch* 10, 20, 50, 100 cm<sup>2</sup>,
- *rozsah tlakoměru* 0 – 200 mm H<sub>2</sub>O,
- *rozsah průtokoměru* 4 – 8000 l/hod.





Obrázek 30: Metefem FF – 12/A [21].

1. vzduchový ventil, 2. vypínač, 3. nulovací kolečko, 4. trubice pro měření tlakového spádu, 5. páka pro upevnění vzorku, 6. ventil otevírající průtokoměry, 7. průtokoměry.

Dále byly vzorky vystaveny testu simulující oděr. Použitý zkušební přístroj byl STAININGTESTER, který je určen pro mechanické zkoušky zjišťování stálobarevnosti při otěru za sucha a za vlhka.

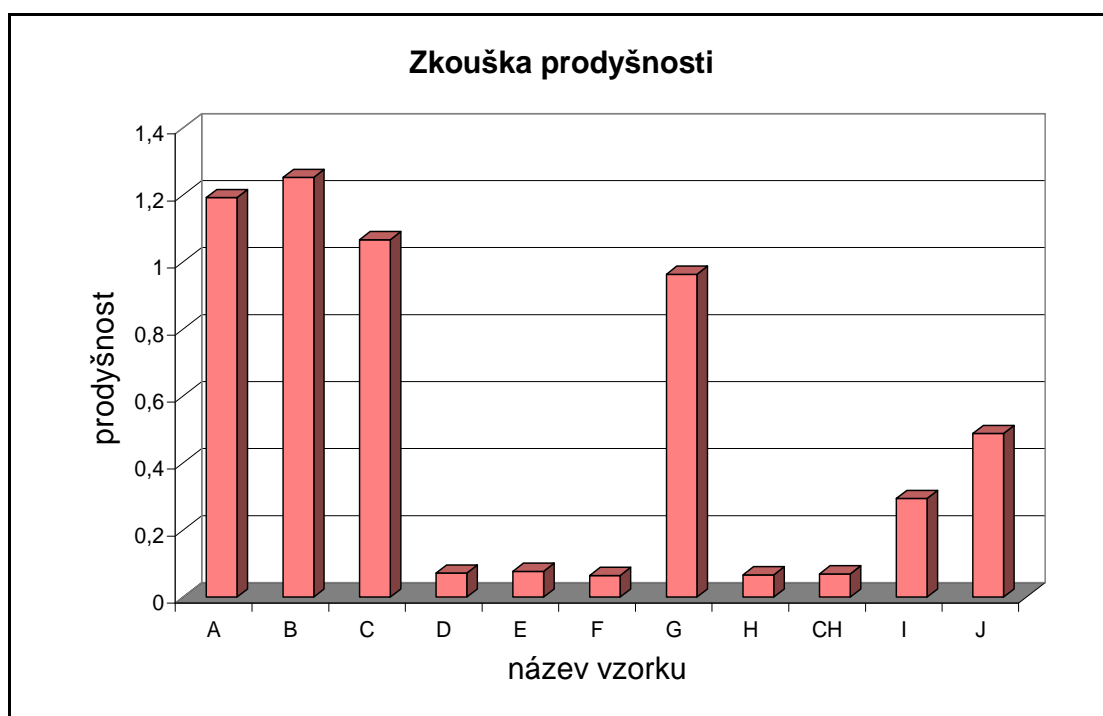
Pro zkoušku oděru u jemných nanovlákných vrstev byl přístroj modifikován. Na horní odírací čelist byla místo brusného papíru připevněna textilie melt-blown z důvodu zjemnění oděru. Vzorek byl upevněn do přístroje a horní odírací čelistí byl proveden pouze jeden zdvih na třech místech na vzorku, poté byl vzorek vyjmut z přístroje, očištěna horní čelist a do přístroje upevněn nový vzorek. Podle nanosené disperze bylo vidět pouhým okem, že u některých vzorků byl úbytek nanovlákné vrstvy větší, než u jiných vzorků. Pomocí fotoaparátu byly pořízeny snímky vzorků nanovlákných vrstev po oděru, které byly vyhodnoceny pomocí obrazové analýzy v programu NIS - Elements AR.

Tento program vyhodnotil procento úbytku nanovlákné vrstvy vzhledem k celkové odírané ploše. Snímky nanovlákných vrstev po oděru jsou uvedené v příloze C a průměrné hodnoty v tabulce 6.

Tabulka 6: *Průměrné hodnoty prodyšnosti a podíl úbytku nanovlákněné vrstvy po zkoušce oděru.*

<b>název vzorku</b>	<b>prodyšnost Pr [l.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>]</b>	<b>podíl úbytku nanovlákněné vrstvy po zkoušce oděru [%]</b>	<b>název vzorku</b>	<b>prodyšnost Pr [l.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>]</b>	<b>podíl úbytku nanovlákněné vrstvy po zkoušce oděru [%]</b>
<b>A</b>	1,192	79,6	<b>K</b>	1,363	75,1
<b>B</b>	1,252	73,7	<b>L</b>	0,080	55,2
<b>C</b>	1,066	69,8	<b>M</b>	1,151	82,8
<b>D</b>	0,071	71,0	<b>N</b>	1,222	77,8
<b>E</b>	0,077	86,3	<b>O</b>	0,057	71,3
<b>F</b>	0,064	55,1	<b>P</b>	0,082	85,8
<b>G</b>	0,963	26,2	<b>Q</b>	0,063	77,5
<b>H</b>	0,066	66,4	<b>R</b>	0,073	68,3
<b>CH</b>	0,069	74,7	<b>S</b>	0,074	62,9
<b>I</b>	0,294	65,6	<b>T</b>	0,060	63,3
<b>J</b>	0,488	86,4	<b>U</b>	0,066	66,9

Hodnota prodyšnosti textilie spun-bond s vytvořenou nanovlákněnou vrstvou bez adhezního spoje je 2,139 l.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

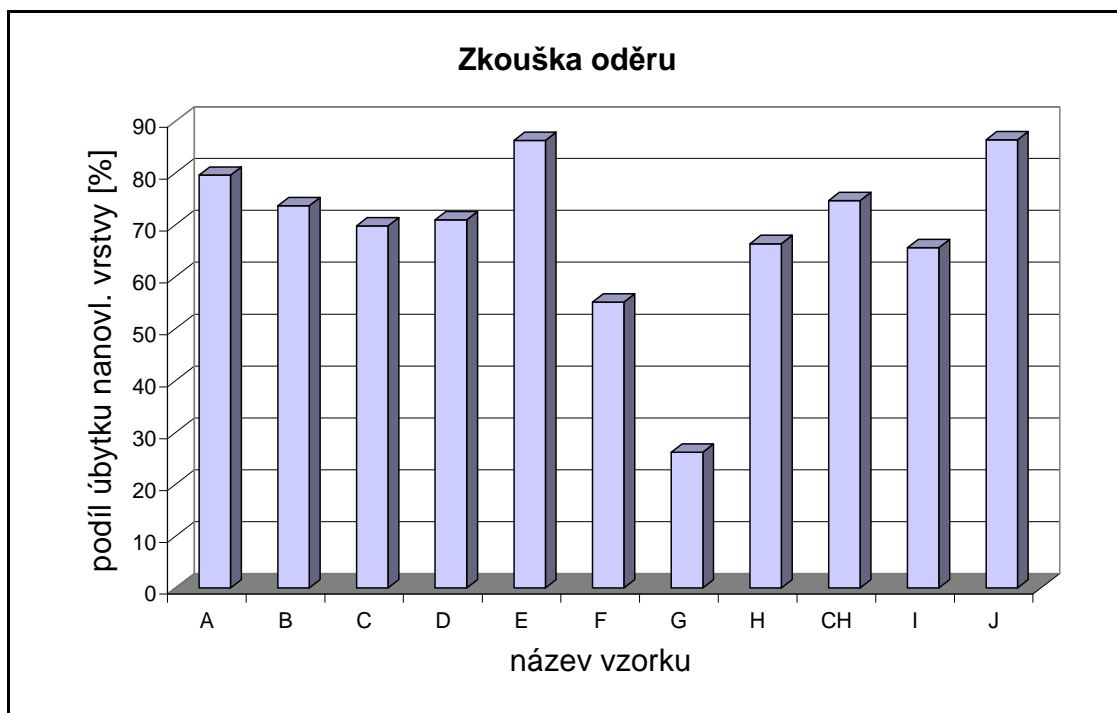


Obrázek 31: Graf zkoušky prodyšnosti pro vzorky A – J.

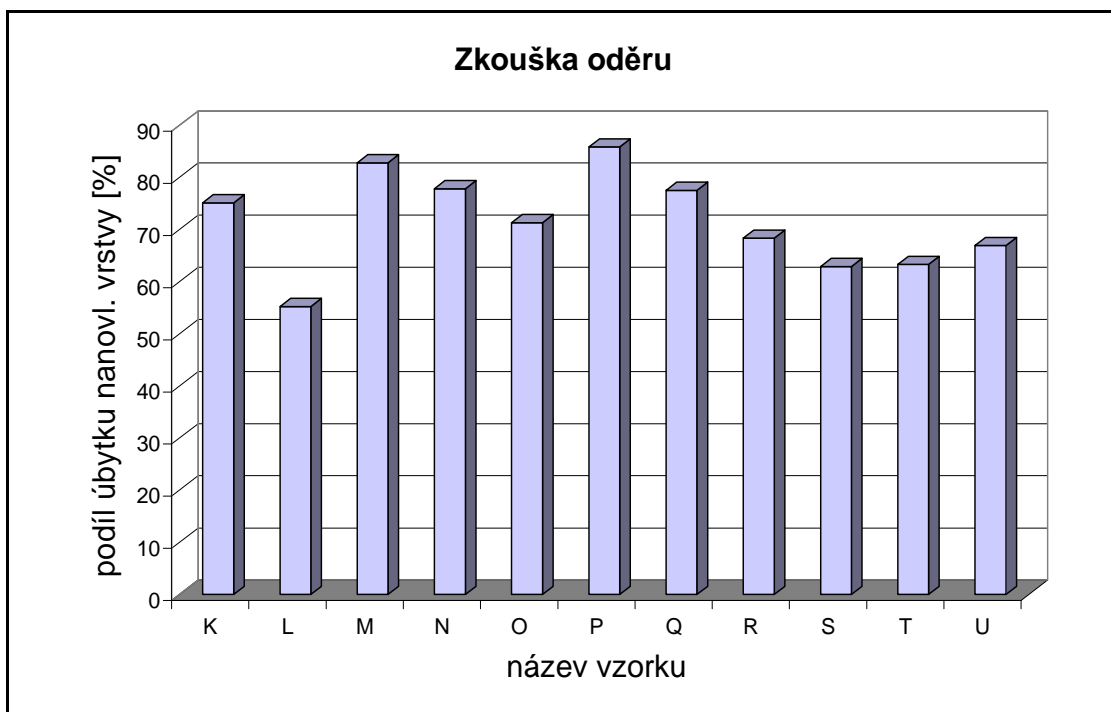


Obrázek 32: Graf zkoušky prodyšnosti pro vzorky K - U.





Obrázek 33: Graf zkoušky oděru pro vzorky A – J.



Obrázek 34: Graf zkoušky oděru pro vzorky K – U.

## 9. Výsledky a diskuze

### 9.1 Zhodnocení výsledků zkoušky lpění vrstev

Jako prvotní krok v experimentální části bylo zvoleno stanovení pevnosti spoje pomocí zkoušky lpění vrstev. Bylo třeba zjistit chování disperzí k podkladovému materiálu a síla potřebná k porušení adhezního spoje, který byl vytvořen danými disperzemi (kap. 3.3). Pevnost spoje byla hodnocena mezi textilií spun-bond a polypropylenovou folií na zkušebním přístroji LabTest 4.050.

Z grafu na obrázku 11 vyplývá, že nejvyšší hodnotu pevnosti spoje má disperze Collano DP 7006 (1,189 N), dále pak disperze Acronal V 210 (0,941 N) a disperze Collano DP 7011 (0,867 N). Tyto tři adhezní systémy byly dále vybrány pro tvorbu adhezního spoje mezi textilií spun-bond a na ni vytvořenou nanovlákennou vrstvou.

Nejmenší hodnota pevnosti spoje byla naměřena u disperze Collano DP 114 (0,594 N). U dvou vzorků, kde byl adhezní spoj vytvořen z disperze Acronal S 560, došlo k oddělení obou materiálů pouhou manipulací, proto u těchto vzorků nebyla zkouška provedena. U ostatních vzorků bylo možné od sebe fólii a textilii spun-bond oddělit bez jejich poškození, protože síla potřebná k porušení adhezního spoje byla menší než síla potřebná k poškození obou materiálů.

### 9.2 Zhodnocení výsledků povrchového napětí disperzí a kontaktního úhlu u kapky disperze

Povrchové napětí bylo měřeno u všech sedmi disperzí. Jak ukazuje graf na obrázku 21, nejvyšší hodnoty povrchového napětí byly naměřeno u disperze Collano DP 114 (92,9 mN/m). U této disperze byla také naměřena nejmenší síla, která byla potřebná k porušení adhezního spoje, z čehož vyplývá, že čím je hodnota povrchového napětí vyšší, tím méně je disperze vhodná pro vytváření adhezního spoje. O vysokém povrchovém napětí této disperze se také dalo přesvědčit změřením kontaktního úhlu mezi pevným povrchem a tečnou k povrchu kapky disperze. Jako pevný povrch byla použita textilie spun-bond a filtrační papír. Kontaktní úhel byl měřen z pravé i z levé strany kapky. U vytvořené kapky z disperze Collano DP 114 na textilii spun-bond byla průměrná hodnota kontaktního úhlu z levé strany naměřena 115,2° a z pravé strany 113,4°, na filtračním papíru byla průměrná hodnota z levé strany 104° a z pravé strany

104,2°. Jak lze vidět na obrázku 16, kapka této disperze na textilií spun-bond, tak i na filtračním papíru zaujímá tvar s minimálním povrchem, tj. tvar koule.

V teoretické části je uvedeno, že kontaktní úhel je mírou snášivosti. Na obrázku 14 je vidět, že disperze smáčí povrch textilie i povrch filtračního papíru. Je to disperze Acronal LA 471, jejíž hodnota povrchového napětí je nejnižší (32,4 mN/m). U této disperze byly naměřeny i nejnižší hodnoty kontaktního úhlu. Na textilií spun-bond z levé strany byl změřen úhel 39,8° a z pravé strany 43,8° a na filtračním papíru byl změřen úhel z levé strany 30,2° a z pravé strany 37,4°.

### 9.3 Zhodnocení aplikace adhezních vrstev

Bylo zjištěno, že pokud je nanovláknenná vrstva nanесena na nosný materiál bez adhezního spoje, je velice lehké tyto dva materiály od sebe mechanicky oddělit. Experimentální část byla velice časově náročná, nebylo tedy možné studovat všechny dané adhezní systémy. Podle výsledků zkoušky lpění vrstev byly vybrány tři disperze, u kterých byly připraveny roztoky o 10%, 20% a 30% koncentraci o objemu 200 ml. Adhezní systémy byly aplikovány na nosný materiál, jímž byla textilie spun-bond. Bylo vyrobeno celkem 22 vzorků, každý vzorek byl označen velkým tiskacím písmenem české abecedy (viz. tab. 5). Během vytváření adhezních vrstev byla měněna rychlost nanášecího válečku (4,5; 45 a 75 ot/min) a rychlost odtahu textilie (0,80; 1,25 a 1,80 m/min), čímž byla různě měněna plošná hmotnost adhezních vrstev (tab. 5). Čím nižší byla rychlost odtahu textilie, tím nižší byla výsledná plošná hmotnost. Nižší plošné hmotnosti se dalo docílit při použití disperze Collano DP 7006 10% při rychlosti nanášecího válečku 4,5 ot/min, kdy nános byl po ploše textilie rovnoměrný a nedocházelo k prosakování disperze na rubní stranu textilie. Pokud byla tato disperze použita ve 20% a 30% koncentraci, docházelo k výraznému prosakování. Rychlost nánosu byla zvýšena desetinásobně, což ale nezamezilo prosakování disperze. U 30% disperze byla použita i rychlost nanášecího válečku 75 ot/min, opět docházelo k prosakování na rubní stranu, ale nános z části kopíroval strukturu textilie, což znamená, že na některých místech textilie bylo třeba se o disperzi přesvědčit omakem.

Vytvořené vzorky byly pozorovány pod mikroskopem a byly vytvořeny snímky (obr. 24 - 29) pomocí softwaru LUCIA G. Na snímcích lze vidět, že disperze úplně nezaplnila prostor mezi vlákny, ale přímo na nich ulpěla, což lze pozorovat v podobě kapiček na vláknech.

Při aplikaci disperze Collano DP 7011 ve všech třech koncentracích byla použita rychlost nanášecího válečku 45 ot/min, vrstva byla rovnoměrná, docházelo pouze k mírnému prosakování, ale tím byla zvýšena plošná hmotnost adhezního nánosu. U disperze Acronal V 210 byla rychlost nánosu zvýšena i na 75 ot/min, i přesto však docházelo k prosakování disperze na rubní stranu. To mohlo mít příčinu v nižší hodnotě povrchového napětí (tab. 4). Po projití vzorku sušicí komorou byly na textilií viditelné bílé nezasušené skvrny. Plošné hmotnosti u adhezních vrstev z 20% a 30% koncentraci byly tedy jedny z nejvyšších.

## 9.4 Zhodnocení zkoušky prodyšnosti a zkoušky oděru

Prodyšnost vzorků byla měřena pomocí přístroje METEFEM FF – 12/A u vzorků, kde byla vytvořena adhezní vrstva a poté nanovlákná vrstva z polyuretanu za pomoci elektrostatického zvlákňování. Bylo zjištěno, že prodyšnost vzorků byla snížena oproti prodyšnosti textilie spun-bond s nanovláknou vrstvou bez adhezního spoje ( $Pr = 2,139 \text{ l.m-2.s-1}$ ). Průměrné hodnoty prodyšnosti vzorků jsou uvedené v tabulce 6. Z grafu na obrázku 31 a 32 lze vyčíst, že nejvyšší prodyšnost má vzorek K ( $1,363 \text{ l.m-2.s-1}$ ), u něhož byla vytvořena adhezní vrstva s nejnižší plošnou hmotností ( $0,6 \text{ g/m}^2$ ). Nejvyšší hodnotu prodyšnosti má také vzorek A ( $1,192 \text{ l.m-2.s-1}$ ) s plošnou hmotností adhezní vrstvy  $1,8 \text{ g/m}^2$  a vzorek B ( $1,252 \text{ l.m-2.s-1}$ ) s plošnou hmotností adhezní vrstvy  $1,3 \text{ g/m}^2$ . Nejmenší prodyšnost má vzorek O ( $0,057 \text{ l.m-2.s-1}$ ), jehož plošná hmotnost adhezní vrstvy  $15,1 \text{ g/m}^2$  byla největší.

Dále byly vzorky vystaveny testu simulující oděr. Zkouška oděru byla provedena na nanovlákných vrstvách, u kterých nebylo jednoduché je mechanicky oddělit od textilie spun-bond díky adheznímu spoji. Fotoaparátem byly pořízeny snímky vzorků, u kterých bylo vyhodnoceno procento úbytku nanovlákné vrstvy po zkoušce oděru pomocí obrazové analýzy. Průměrné hodnoty úbytku nanovlákné vrstvy po zkoušce oděru jsou uvedené v tabulce 6 a snímky těchto vrstev v příloze C. Na obrázku 33 a 34 jsou uvedené grafy, na kterých lze vidět, že největší úbytek nanovlákné vrstvy má vzorek J (86,4 %) s adhezní vrstvou Acronal V 210 10%, dále vzorek E (86,3 %) s adhezní vrstvou Collano DP 7006 20% a také vzorek P (85,8 %) s adhezní vrstvou Collano DP 7011 10%. Nejmenší procento úbytku nanovlákné vrstvy po zkoušce oděru má vzorek G (26,2 %) s adhezní vrstvou Collano DP 7006 30%.

## 10. Problémy experimentu

Během experimentální části vznikaly určité problémy a nedostatky, které v závěru ovlivnily výsledky celého experimentu. Problémům se nedalo předejít, protože tato zpracovaná diplomová práce je první, která se zabývá adhezními spoji mezi nosným materiálem a nanovláknennou vrstvou. Nebylo tedy možné zjistit dostačující podkladové informace. Z finančního hlediska bylo nutné navrhnout a zkonstruovat nanášecí zařízení pro adhezní systémy na Katedře netkaných textilií. Zařízení bylo navrženo podle odborné literatury, ale již při tvorbě adhezních vrstev docházelo k prosakování disperze na rubní stranu textilie a každá disperze měla při nanášení úplně jiné chování. Nebylo tedy možné nanášet disperze za stejné rychlosti nanášecího válečku. Jednou z příčin by mohlo být špatné zvolení povrchu nanášecího válečku. Štětinový váleček mohl mít delší vlas a aplikoval tak větší množství disperze než bylo třeba. Také u válečku chyběla lišta, která by stírala z povrchu válečku přebytečné množství disperze. Navrhovala bych tedy zvolit nanášecí váleček s nepatrným vlasovým povrchem, na vaničce pro disperzi vytvořit přítlak na váleček v podobě stírací lišty a zvýšit přítlak textilie přítlačným válečkem.

Největší problém, který ovlivnil výsledky experimentu bylo, že procesy výroba adhezní vrstvy a výroba nanovláknenné vrstvy nebyly kontinuálně zapojeny. Docházelo tak ke zbytečné manipulaci vzorků s vytvořenou adhezní vrstvou, kdy mohlo dojít k zašpinění a znehodnocení vytvořené vrstvy z adheziva. Textilie s vytvořenou adhezní vrstvou byla ručně navinuta na odvíjející válec laboratorního zařízení Nanospider, tudíž textilie nebyla dostatečně napnuta při průtahu zařízením a tvořila se tak nesouvislá nanovláknenná vrstva. Proto bych doporučila, aby tyto procesy byly zapojeny do kontinuálního procesu, který bude opatřen ochranným krytem. Je totiž možné, že celý proces výroby adhezní vrstvy ovlivňuje prašnost, teplota a vlhkost vzduchu okolního prostředí.

Další problém vznikl u vyhodnocování snímků vzorků s nanovláknennou vrstvou po oděru pomocí obrazové analýzy. Snímky byly pořízeny fotoaparátem, kdy každý snímek byl vyfotografován ze stejné vzdálenosti, ale nebyl nijak nasvícený. Jak lze vidět v příloze C, snímky mají různá zbarvení, nebylo tedy možné vyhodnotit snímky při konstantním prahování. Prahování je funkce, která upravuje jasové či barevné složky pixelů obrazu.

# Závěr

Cílem diplomové práce bylo studium adheze nanovláknenných vrstev k nosným materiálům. Jako výchozí adhezní systémy byly použity disperze od firmy BASF a Collano a nosným materiálem byla textilie spun-bond od firmy Peagas. Nejprve bylo třeba zjistit chování adhezních systému k nosnému materiálu, byla tedy provedena zkouška lpění vrstev pomocí Gardonova testu, bylo proměřeno povrchové napětí adhezních systémů a byl měřen kontaktní úhel mezi nosným materiálem a tečnou k povrchu kapky adheziva. Na základě těchto zkoušek byly vybrány tři druhy disperzí a byly aplikovány na nosnou textilií spun-bond. Na vzorky s adhezní vrstvou byla vytvořena nanovláknenná vrstva z polyuretanu pomocí elektrostatického zvlákňování. U těchto vzorků byla dále provedena zkouška prodyšnosti a mechanická zkouška simulující oděr, který byl vyhodnocen obrazovou analýzou.

Celý experiment znehodnocovaly určité problémy, které jsou shrnuty v kap. 10. Po sečtení těchto problémů není například možné vyhodnotit závislost prodyšnosti na koncentraci roztoku, protože každý vzorek byl vyráběn za jiných podmínek. Měnila se rychlost nanášecího válečku a tím se měnila i plošná hmotnost adhezní vrstvy. Proto ve výsledku jsou kroky experimentu vyhodnoceny jednotlivě, nikoliv v závislosti na sobě.

Nejlepších výsledků u aplikace adhezních systému dosáhla disperze Collano DP 7011 ve všech třech koncentracích, která se během aplikace na textilií spun-bond nanášela rovnoměrně a neprosakovala na rubní stranu textilie. Bohužel nevýhodou je nízká prodyšnost těchto vzorků, což způsobila vyšší plošná hmotnost, která vznikala kvůli vyšším rychlostem nanášecího válečku. Úbytek nanovláknenné vrstvy po zkoušce oděru nebyl tak výrazný, odírací čelist neprodřela nanovláknennou vrstvu až na plochu textilie spun-bond.

Jednou z nevýhod v experimentální části bylo, že procesy výroby nanovláknenné vrstvy a výroba adhezní vrstvy nebyly kontinuálně zapojeny. Což by mohlo do budoucna komplikovat výrobní a také finanční stránku vyráběného produktu. Proto bych doporučila kontinuálně spojit výrobu adhezních vrstev s technologií Nanospider, bylo by vhodné studovat způsoby nanášení adhezních systémů, studovat do jaké míry ovlivňuje povrch aplikačního válečku tvorbu adhezní vrstvy.

I když tato diplomová práce neobsahuje všechna hlediska potřebná k zodpovědnému zhodnocení, domnívám se, že na základě dosažených výsledků je v praxi reálné uplatnění některých testovaných adhezních systémů.

# Seznam použité literatury

- [1] KOVAČIČ, Ľ. *Lepenie kovov a plastov*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1980. 389 s. Edícia chemickej literatúry.
- [2] PETERKA, J. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1.vydání, Praha : SNTL, 1980.
- [3] Dostupné on-line (10.10 2008): [www.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy](http://www.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy)
- [4] JIRSÁK, O. - KALINOVÁ, K. *Netkané textilie*. Vyd. 1. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2003. 129 s. ISBN 80-7083-746-2.
- [5] Dostupné on-line (10.10 22008): [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001)
- [6] MELEZÍNEK, O. *Lepení kovů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1961.
- [7] RŮŽIČKOVÁ, J. *Elektrostatické zvlákňování nanovláken*. Vyd. 2. nezměn. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2006. 54 s. ISBN 80-7372-066-3.
- [8] LUKÁŠ, D. *Teorie netkaných textilií*. KNT 7/2001
- [9] HANOUSEK, J. - CHARAMZA, P. *Moderní metody zpracování dat : Matematická statistika pro každého*. 1. vyd. Praha : Grada, 1992. 210 s. Educa '99. ISBN 80-85623-31-5.
- [10] Dostupné on-line (7.12 2008):  
[http://is.muni.cz/th/151152/prif\\_b/Hedvika\\_bakalarska\\_prace.txt](http://is.muni.cz/th/151152/prif_b/Hedvika_bakalarska_prace.txt)
- [11] Dostupné on-line (27.1 2009):  
[http://www.ilabo.cz/www/index.php?Itemid=34&category\\_id=165&flypage=&option=com\\_virtuemart&page=shop.product\\_details&product\\_id=42](http://www.ilabo.cz/www/index.php?Itemid=34&category_id=165&flypage=&option=com_virtuemart&page=shop.product_details&product_id=42)

- [12] Dostupné on-line (2.2 2009): <http://www.inovace.cz/vyzkum-a-vyvoj>
- [13] Dostupné on-line (2.2 2009): [www.engr.utk.edu/mse/pages/Textiles/SpunbondTechnology.htm](http://www.engr.utk.edu/mse/pages/Textiles/SpunbondTechnology.htm)
- [14] Dostupné on-line (18.2 2009):  
[http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/obsah/vedecka\\_cinnost/mech\\_zkousky/index.html](http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/nove/obsah/vedecka_cinnost/mech_zkousky/index.html)
- [15] Dostupné on-line (11.3 2009): <http://www.elmarco.com>
- [16] KOVAČIČ, V. *Textilní zkušebnictví*. Vyd. 1. Díl I. Liberec : Technická univerzita, 2004. 79 s. ISBN 80-7083-824-8.
- [17] BENEDEK, I. *Pressure – Sensitive Adhesives and Applications*. 2004, ISBN 08-2475-059-4.
- [18] Die Herstellung van Haftklebstoffen, T1.-2, 2-14d, Dec. 1979, BASF, Ludwigshafen, Germany.
- [19] Adhäsion, (1/2) 27 (1987)
- [20] W. Schaezle, *Coating*, (9) 314 (1987)
- [21] Uživatelská příručka: *METEFEM FF – 12/A*.
- [22] Dostupné on-line (2.12.2007): [http:// en.wikipedia.org/wiki/tylor\\_cone](http://en.wikipedia.org/wiki/tylor_cone)
- [23] OSTEN, M. - MLEZIVA, J. *Práce s lepidly a tmely*. 3., přeprac. a zkr. vyd. Praha: Grada Publishing, 1996. 129 s. Profi & hobby ; 10. ISBN 80-7169-338-3.



# **Přílohy**

## Příloha A

Naměřené hodnoty kontaktního úhlu.

Acronal S 560				
vzorek	textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
měření	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]
1.	88	82	79	76
2.	89	81	83	86
3.	88	86	79	80
4.	81	85	87	82
5.	112	103	74	80
$\bar{x}$ [°]	<b>91,6</b>	<b>87,4</b>	<b>80,4</b>	<b>80,8</b>
s [°]	<b>11,8</b>	<b>8,9</b>	<b>4,9</b>	<b>3,6</b>

Acronal LA 471 S				
vzorek	textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
měření	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]
1.	45	40	23	51
2.	40	41	23	24
3.	55	63	42	42
4.	33	31	27	35
5.	26	44	36	35
$\bar{x}$ [°]	<b>39,8</b>	<b>43,8</b>	<b>30,2</b>	<b>37,4</b>
s [°]	<b>11,1</b>	<b>11,7</b>	<b>8,5</b>	<b>10,0</b>

Acronal V 210				
vzorek	textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
měření	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]
1.	94	97	76	82
2.	87	81	82	85
3.	73	78	79	86
4.	94	87	80	77
5.	82	80	81	82
$\bar{x}$ [°]	<b>86,0</b>	<b>84,6</b>	<b>79,6</b>	<b>82,4</b>
s [°]	<b>8,9</b>	<b>7,7</b>	<b>2,3</b>	<b>3,5</b>

Collano DP 114				
vzorek	textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
měření	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]
1.	109	102	104	99
2.	110	109	108	107
3.	115	121	107	110
4.	124	119	101	104
5.	118	116	100	101
$\bar{x}$ [°]	<b>115,2</b>	<b>113,4</b>	<b>104,0</b>	<b>104,2</b>
s [°]	<b>6,2</b>	<b>7,8</b>	<b>3,5</b>	<b>4,4</b>

Collano DP 7011				
vzorek	textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
měření	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]
1.	109	109	99	108
2.	109	107	104	102
3.	100	131	100	103
4.	133	129	106	105
5.	115	125	94	94
$\bar{x}$ [°]	<b>113,2</b>	<b>120,2</b>	<b>100,6</b>	<b>102,4</b>
s [°]	<b>12,3</b>	<b>11,4</b>	<b>4,7</b>	<b>5,2</b>

Collano DP 7006				
vzorek	textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
měření	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]
1.	112	102	95	95
2.	128	97	99	98
3.	123	113	96	100
4.	99	110	88	95
5.	102	108	102	87
$\bar{x}$ [°]	<b>112,8</b>	<b>106,0</b>	<b>96,0</b>	<b>95,0</b>
s [°]	<b>12,7</b>	<b>6,5</b>	<b>5,3</b>	<b>5,0</b>

Collano DP 7008				
vzorek	textilie SPUN-BOND		filtrační papír	
měření	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]	levá strana $\theta$ [°]	pravá strana $\theta$ [°]
1.	105	100	97	104
2.	112	110	107	108
3.	108	110	110	111
4.	111	128	112	108
5.	119	122	104	108
$\bar{x}$ [°]	<b>111,0</b>	<b>114,0</b>	<b>106,0</b>	<b>107,8</b>
s [°]	<b>5,3</b>	<b>11,1</b>	<b>5,9</b>	<b>2,3</b>

## Příloha B

Naměřené hodnoty plošných hmotností u jednotlivých adhezních vrstev.

Collano DP 7006						
Název vzorku	koncentrace [%]	1. měření [g/m <sup>2</sup> ]	2. měření [g/m <sup>2</sup> ]	3. měření [g/m <sup>2</sup> ]	$\bar{x}$ [g/m <sup>2</sup> ]	s [g/m <sup>2</sup> ]
A	10	1,8	1,7	1,8	1,8	0,06
B	10	1,2	1,3	1,4	1,3	0,10
C	10	1,2	0,9	0,9	1,0	0,17
D	20	6,3	6,0	5,9	6,1	0,21
E	20	5,1	5,0	5,1	5,1	0,06
F	20	4,0	4,3	4,5	4,3	0,25
G	30	9,2	9,5	9,7	9,5	0,25
H	30	7,1	7,9	8,0	7,7	0,49
CH	30	8,1	7,1	7,3	7,5	0,53

Acronal V 210						
Název vzorku	koncentrace [%]	1. měření [g/m <sup>2</sup> ]	2. měření [g/m <sup>2</sup> ]	3. měření [g/m <sup>2</sup> ]	$\bar{x}$ [g/m <sup>2</sup> ]	s [g/m <sup>2</sup> ]
I	10	1,5	1,4	1,8	1,6	0,21
J	10	1,0	1,1	1,0	1,0	0,06
K	10	0,5	0,4	0,9	0,6	0,27
L	20	12,5	12,1	12,3	12,3	0,20
M	20	10,8	10,9	10,8	10,8	0,06
N	20	8,6	8,2	8,3	8,4	0,21
O	30	15,2	15,9	15,1	15,1	0,15

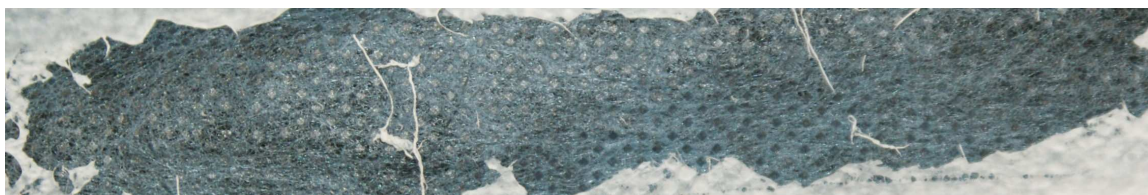
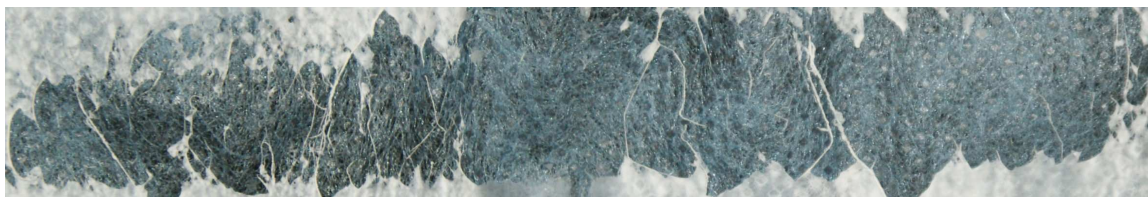
Collano DP 7011						
Název vzorku	koncentrace [%]	1. měření [g/m <sup>2</sup> ]	2. měření [g/m <sup>2</sup> ]	3. měření [g/m <sup>2</sup> ]	$\bar{x}$ [g/m <sup>2</sup> ]	s [g/m <sup>2</sup> ]
P	10	3,7	3,8	3,9	3,8	0,10
Q	10	3,5	3,1	3,2	3,3	0,21
R	20	7,4	7,7	7,2	7,4	0,25
S	20	6,4	6,4	6,1	6,3	0,17
T	30	9,1	8,8	8,9	8,9	0,15
U	30	9,7	9,9	9,4	9,6	0,25

## Příloha C

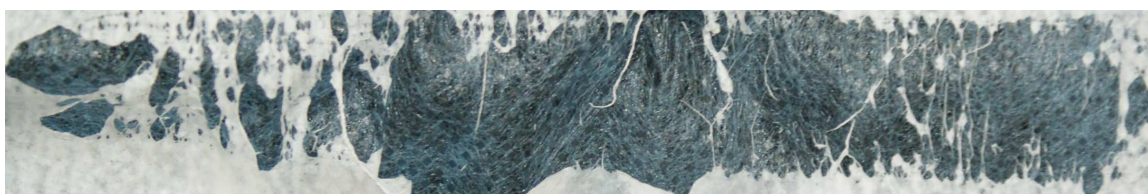
Podíl úbytku nanovlákněné vrstvy po oděru u jednotlivých vzorků

<b>název vzorku</b>	<b>1. měření [%]</b>	<b>2. měření [%]</b>	<b>3. měření [%]</b>	<b><math>\bar{x}</math> [%]</b>	<b>s [%]</b>
<b>A</b>	76,3	81,5	81,2	<b>79,6</b>	<b>2,92</b>
<b>B</b>	75,0	72,3	73,8	<b>73,7</b>	<b>1,35</b>
<b>C</b>	69,0	70,9	69,6	<b>69,8</b>	<b>0,97</b>
<b>D</b>	70,2	72,8	70,1	<b>71,0</b>	<b>1,53</b>
<b>E</b>	85,4	83,7	89,7	<b>86,3</b>	<b>3,09</b>
<b>F</b>	54,8	58,6	51,8	<b>55,1</b>	<b>3,41</b>
<b>G</b>	33,1	25,0	20,5	<b>26,2</b>	<b>6,39</b>
<b>H</b>	64,3	68,2	66,8	<b>66,4</b>	<b>1,98</b>
<b>CH</b>	66,5	77,8	79,9	<b>74,7</b>	<b>7,21</b>
<b>I</b>	69,0	65,6	62,1	<b>65,6</b>	<b>3,45</b>
<b>J</b>	87,4	89,6	82,2	<b>86,4</b>	<b>3,80</b>
<b>K</b>	71,6	80,0	73,6	<b>75,1</b>	<b>4,39</b>
<b>L</b>	52,2	50,8	62,7	<b>55,2</b>	<b>6,51</b>
<b>M</b>	83,7	84,8	79,8	<b>82,8</b>	<b>2,63</b>
<b>N</b>	78,7	78,6	76,2	<b>77,8</b>	<b>1,42</b>
<b>O</b>	72,1	65,3	76,6	<b>71,3</b>	<b>5,69</b>
<b>P</b>	86,5	82,2	88,8	<b>85,8</b>	<b>3,35</b>
<b>Q</b>	77,9	75,5	79,1	<b>77,5</b>	<b>1,83</b>
<b>R</b>	66,4	70,4	68,2	<b>68,3</b>	<b>2,00</b>
<b>S</b>	59,6	68,5	60,7	<b>62,9</b>	<b>4,85</b>
<b>T</b>	63,2	64,3	62,4	<b>63,3</b>	<b>0,95</b>
<b>U</b>	69,4	66,2	65,0	<b>66,9</b>	<b>2,28</b>

Snímky nanovláknenných vrstev po zkoušce oděru.

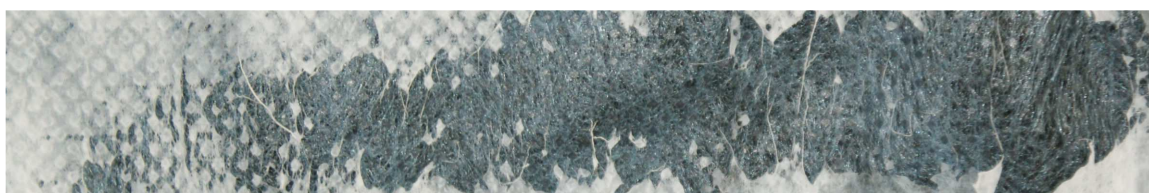
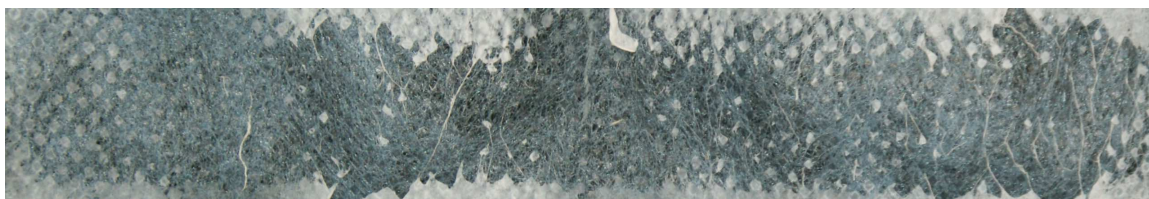


vzorek A

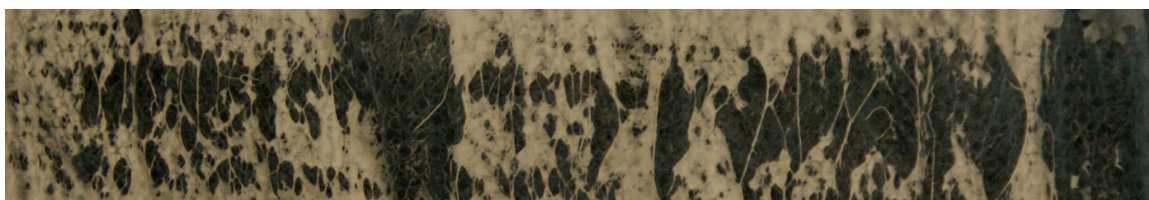
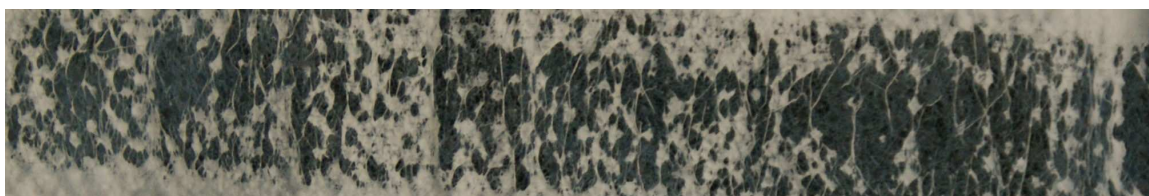


vzorek B



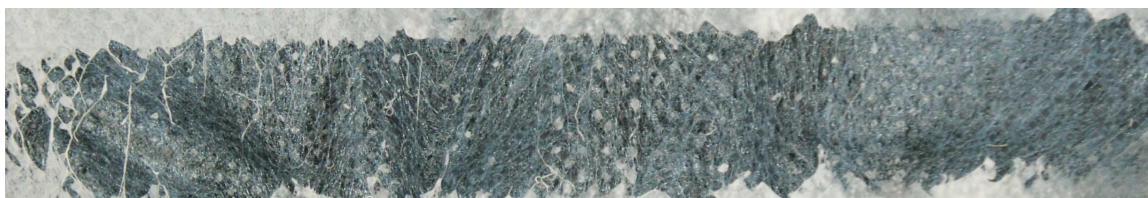


vzorek C

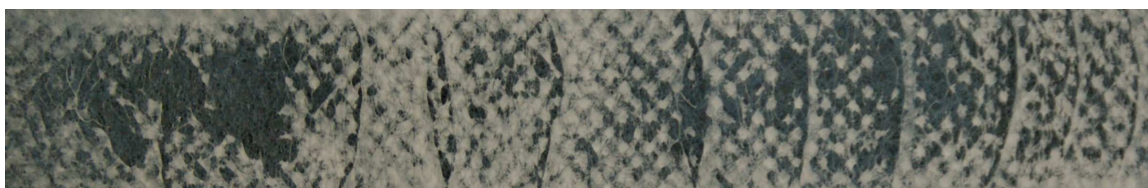
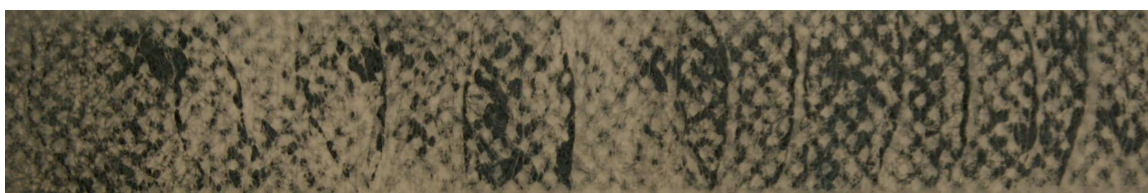


vzorek D





vzorek E

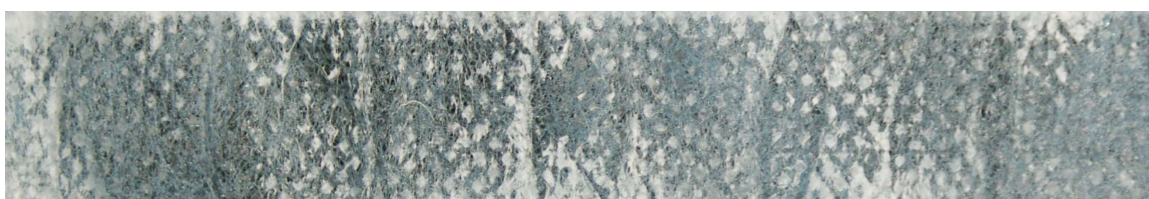


vzorek F





vzorek G

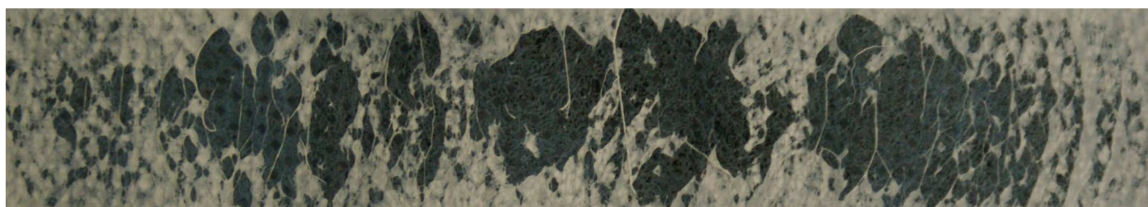
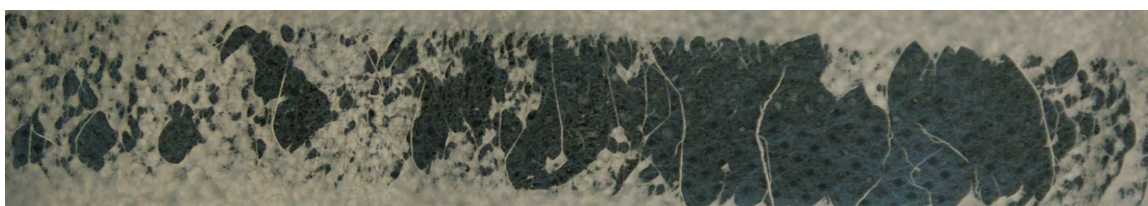
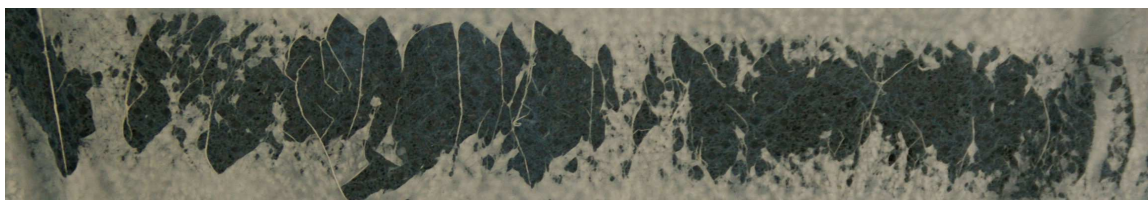


vzorek H



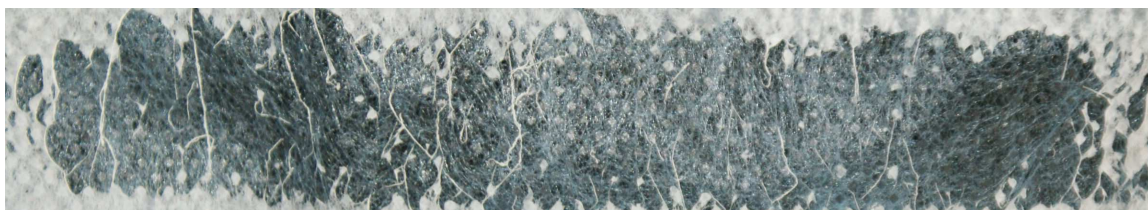


vzorek CH

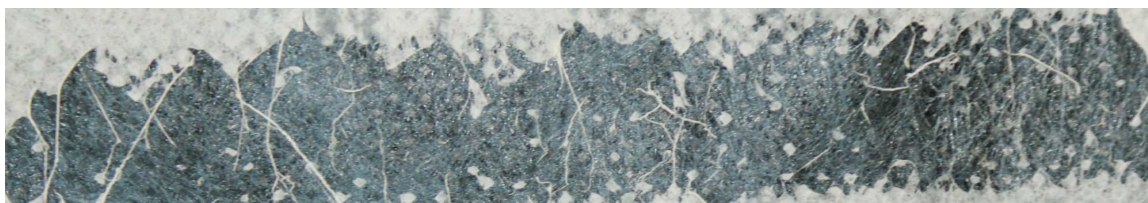


vzorek I



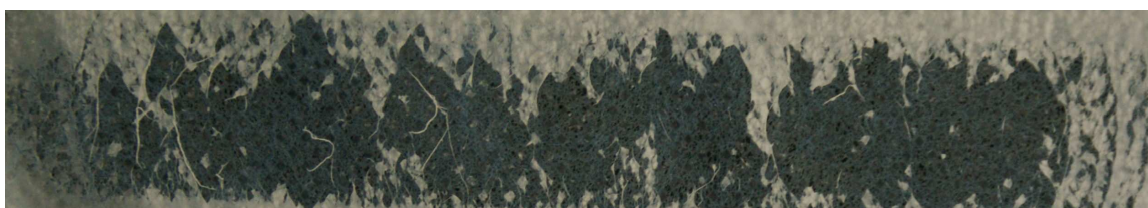


vzorek J

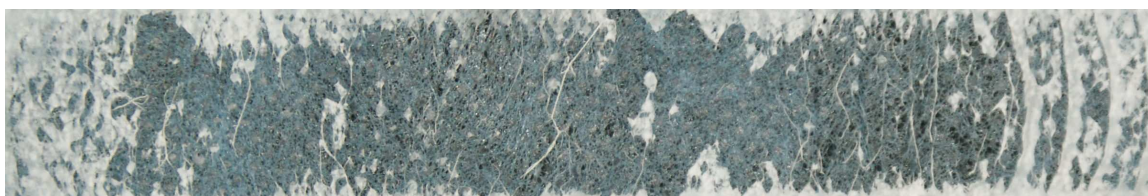
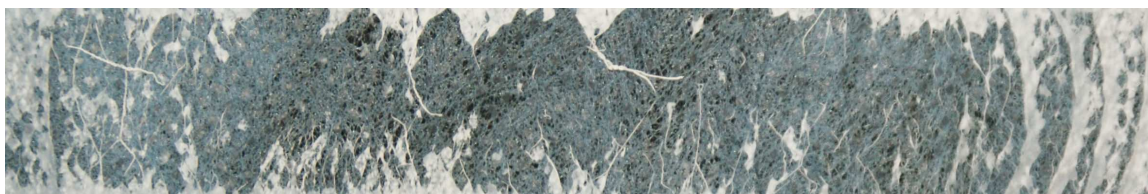
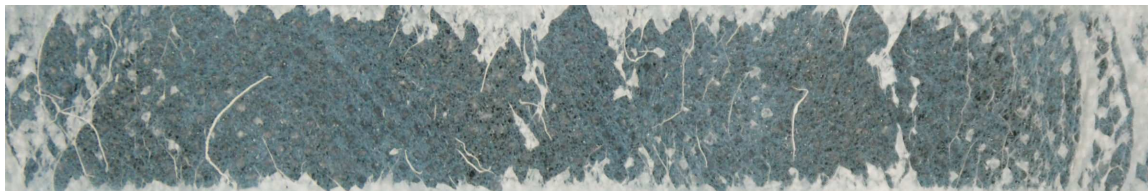


vzorek K



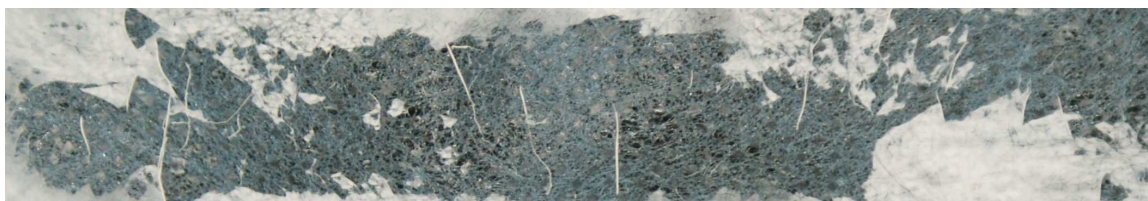
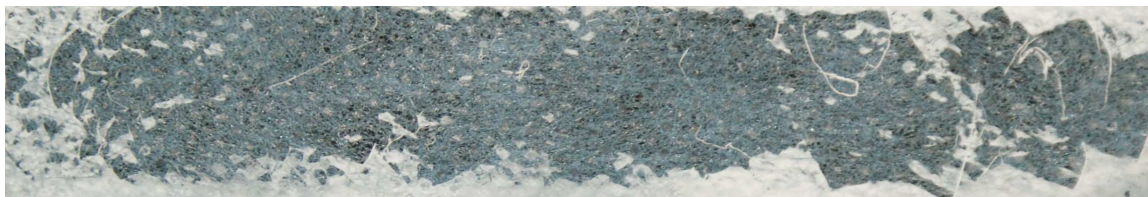


vzorek – L

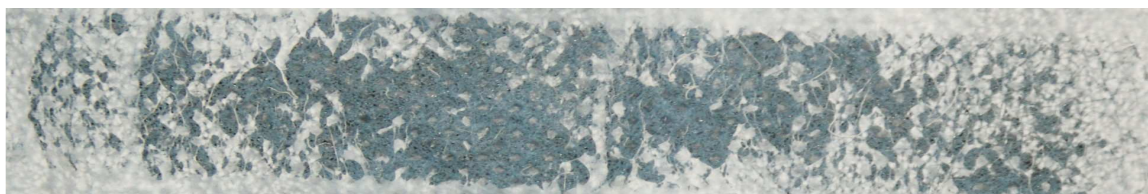


vzorek M



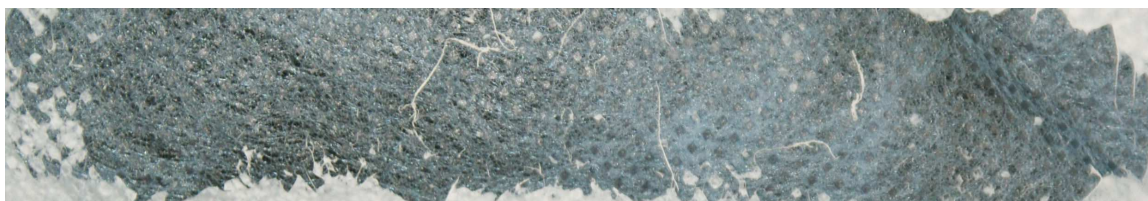


vzorek N

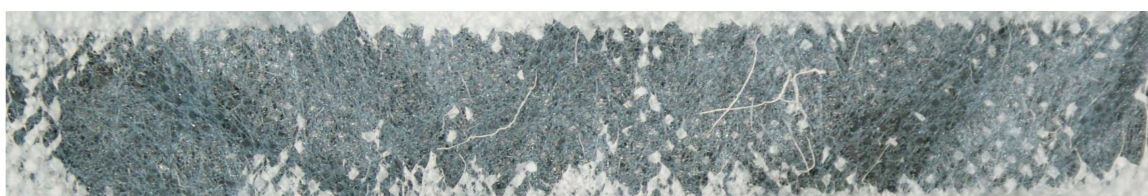
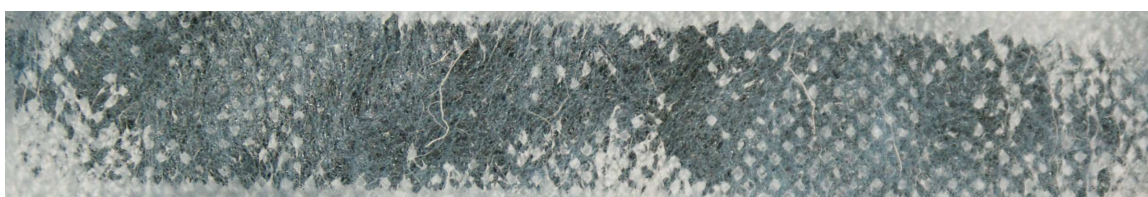


vzorek O



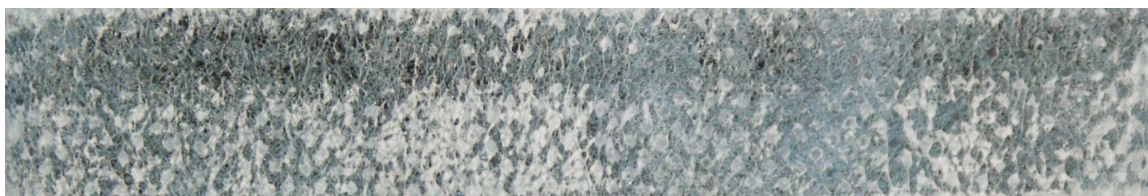
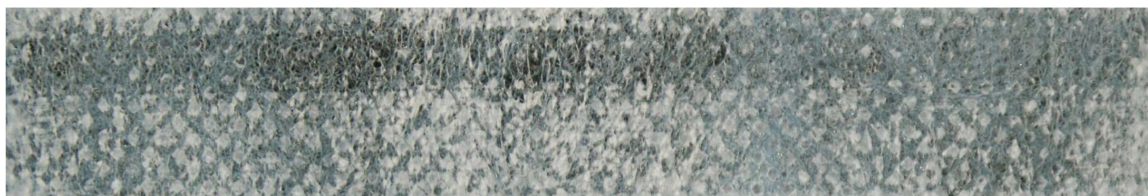
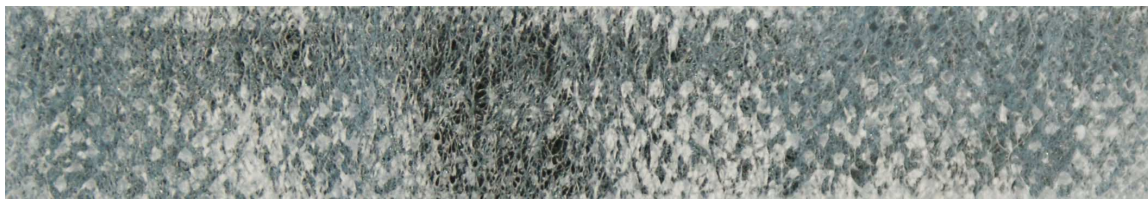


vzorek P

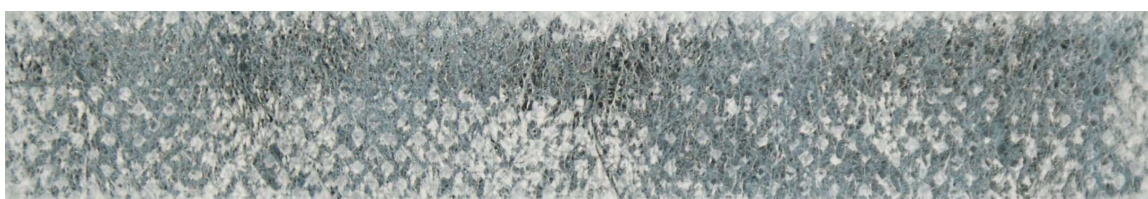
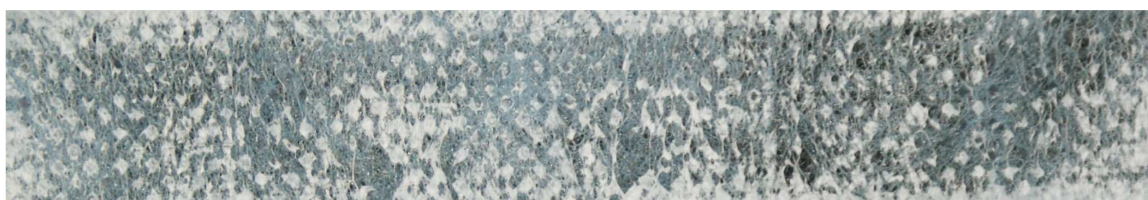


vzorek Q





vzorek R

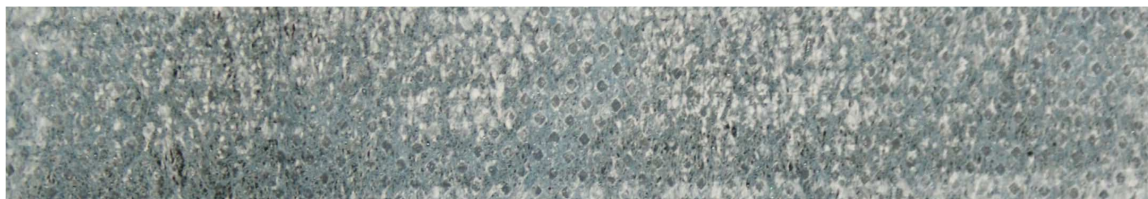


vzorek S





vzorek T



vzorek U

## Příloha D

Naměřené hodnoty prodyšnosti.

<b>název vzorku</b>	<b>1. měř.</b>	<b>2. měř.</b>	<b>3. měř.</b>	<b>4. měř.</b>	<b>5. měř.</b>	$\bar{x}$ [l.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	$s$ [l.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
<b>A</b>	1,225	1,256	1,111	1,111	1,256	<b>1,192</b>	<b>0,075</b>
<b>B</b>	1,111	1,423	1,311	1,250	1,166	<b>1,252</b>	<b>0,123</b>
<b>C</b>	1,032	1,082	1,055	1,079	1,082	<b>1,066</b>	<b>0,022</b>
<b>D</b>	0,061	0,079	0,083	0,069	0,064	<b>0,071</b>	<b>0,010</b>
<b>E</b>	0,069	0,077	0,092	0,069	0,079	<b>0,077</b>	<b>0,010</b>
<b>F</b>	0,055	0,083	0,055	0,061	0,064	<b>0,064</b>	<b>0,016</b>
<b>G</b>	1,166	0,088	1,111	1,138	1,311	<b>0,963</b>	<b>0,495</b>
<b>H</b>	0,088	0,055	0,061	0,072	0,055	<b>0,066</b>	<b>0,014</b>
<b>CH</b>	0,053	0,061	0,083	0,083	0,064	<b>0,069</b>	<b>0,014</b>
<b>I</b>	0,079	0,097	1,111	0,097	0,083	<b>0,294</b>	<b>0,457</b>
<b>J</b>	0,097	0,097	1,111	1,055	0,081	<b>0,488</b>	<b>0,543</b>
<b>K</b>	1,388	1,311	1,527	1,277	1,311	<b>1,363</b>	<b>0,101</b>
<b>L</b>	0,088	0,064	0,079	0,081	0,086	<b>0,080</b>	<b>0,010</b>
<b>M</b>	1,166	1,311	1,055	1,111	1,111	<b>1,151</b>	<b>0,098</b>
<b>N</b>	1,138	1,250	1,277	1,166	1,277	<b>1,222</b>	<b>0,065</b>
<b>O</b>	0,069	0,061	0,050	0,055	0,064	<b>0,057</b>	<b>0,008</b>
<b>P</b>	0,081	0,079	0,086	0,083	0,079	<b>0,082</b>	<b>0,003</b>
<b>Q</b>	0,064	0,058	0,064	0,061	0,069	<b>0,063</b>	<b>0,004</b>
<b>R</b>	0,064	0,064	0,069	0,088	0,077	<b>0,073</b>	<b>0,010</b>
<b>S</b>	0,072	0,064	0,061	0,079	0,092	<b>0,074</b>	<b>0,013</b>
<b>T</b>	0,061	0,064	0,050	0,055	0,055	<b>0,060</b>	<b>0,006</b>
<b>U</b>	0,069	0,050	0,064	0,069	0,077	<b>0,066</b>	<b>0,010</b>